



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES I

TEMA N°2- PLANEACION DE UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL

ING. LUIS MUROW ITQUIN

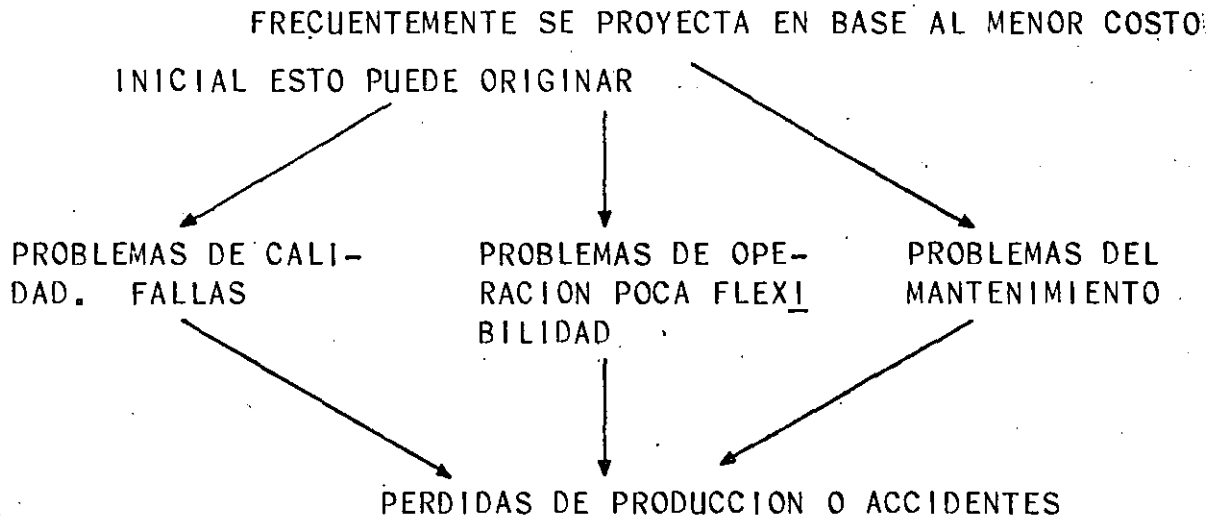
MAYO, 1985

## I.- PLANEACION DE UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL

### I.1.- INTRODUCCION

LA CONTINUIDAD DE PRODUCCION EN UNA PLANTA INDUSTRIAL ES TAN CONFIABLE . . . COMO LO ES SU SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO.

DOS PLANTAS RARAMENTE TIENEN LAS MISMAS NECESIDADES, POR LO QUE NO SE PUEDE USAR EL MISMO SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICA SIN EMBARGO SE SIGUEN RECOMENDACIONES, CODIGOS, NORMAS DE INGENIERIA.



LA DIFERENCIA EN COSTO ENTRE UN SISTEMA BIEN PLANEADO Y UNA INSTALACION MEDIOCRE ES GENERALMENTE PEQUEÑA. TOMESE EN CUENTA QUE EL SISTEMA ELECTRICO, EN GENERAL, COSTARA ALREDEDOR DEL 2 AL 10% DEL COSTO GLOBAL DE LA PLANTA.

EL SISTEMA ELECTRICO DE UNA PLANTA NO ES UN FIN EN SI, SINO FORMA SOLO UNA PARTE DE UN PROCESO PRODUCTIVO, PARTE MUY VITAL POR CIERTO.

NO PLANEE UN SISTEMA ELECTRICO SIN PARTICIPACION DE:

El personal de PRODUCCION de la planta. Ellos conocen el proceso, cuales máquinas pueden quedar fuera en una emergencia y cuales no, la necesidad de cambios futuros.

El personal de MANTENIMIENTO. Indicación en base a sus programas, como debe hacerse la instalación para darle mantenimiento sin riesgo y con facilidad y que sistemas quedan conectados y cuales fuera.

El personal de SEGURIDAD

El grupo de ingeniería Industrial que planea la fábrica y los demas grupos de construcción, mecánica y civil. Debe haber coordinación entre todos.

POR OTRO LADO, QUIENES PLANEAN UNA FABRICA, SE INTERESAN SOBRE TODO EN LAS MAQUINAS DE PRODUCCION, METODOS, DISTRIBUCION DE PLANTA. ESTE GRUPO Y EL GRUPO DE PRODUCCION, TIENDEN A OLVIDAR O A POSPONER LA INSTALACION ELECTRICIA.

- + El sistema no estará bien diseñado.
- + Los costos iniciales se elevarán.
- + Se verá afectada seriamente toda su planeación.

Si no puede ponerse en contacto con estas personas, trate aunque sea indirectamente de obtener datos acerca del funcionamiento de la planta.



1.2.- CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑOSEGURIDAD

En vidas            No hay alternativa.  
Solo la opción segura es la viable.

En la propiedad    puede evaluarse económicamente.

CONFIABILIDAD. Depende del tipo de proceso. Algunas plantas toleran interrupciones, otras no. Las fallas deben aislarse con un mínimo disturbio al resto del sistema.

SIMPLICIDAD DE OPERACION Una vez satisfechos los requerimientos del proceso, el sistema debe ser tan simple como sea posible.

REGULACION DE TENSION Las bajas tensiones producen daños al equipo.

MANTENIMIENTO Acceso con seguridad y facilidad para limpieza, reparaciones, ajustes y mantenimiento rutinario.

FLEXIBILIDAD Deben preverse cambios futuros, dentro de lo económicamente conveniente.

COSTOS INICIALES Factores muy importantes al decidir entre distintas alternativas.

Expansiones futuras también deben considerarse ya que, generalmente todas las industrias tienden a crecer. Esto no debe olvidarse para tomar en cuenta en la selección de voltajes, capacidades de equipo, espacio para instalación. Todo esto debe estar cimentado en el estudio económico correspondiente.

1.3.- GUIA PARA LA PLANEACION DE UN SISTEMA ELECTRICO  
INDUSTRIAL

El siguiente procedimiento podra guiar al Ingeniero en el diseño de un sistema eléctrico de distribución Industrial.

- + Levantamiento de cargas.
- + Determinación de la demanda.
- + Arreglo eléctrico.
- + Localización de equipo.
- + Selección de tensiones.
- + Compañía suministradora.
- + Generación.
- + Diagrama unifilar.
- + Análisis de corto circuito.
- + Protección.
- + Expansión futura.
- + Otros requerimientos.

LEVANTAMIENTO DE CARGAS

OBTENGA UNA DISTRIBUCION DE PLANTA GENERAL CON LA LOCALIZACION DE EQUIPO Y SUS CARACTERISTICAS ELECTRICAS ( POTENCIA, TENSION, FASES ETC).

EN LA MAYOR PARTE DE LAS VECES, LO ANTERIOR NO ES POSIBLE TOTALMENTE. NO SE DETENGA, PORQUE PUEDE CAUSAR RETRASOS A LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA. POR LO TANTO, ESTIME MEDIANTE EL USO DE CARGAS TIPICAS POR AREA, POR FUNCION, EN INDUSTRIAS SIMILARES A LA PROYECTADA, ETC.

COORDINESE CON LOS DEMAS DISEÑADORES DE LA PLANTA. ELLOS LE IRAN PROPORCIONANDO MAS DATOS.

ELABORE USTED SUS PROPIOS INDICES DE WATTS O VA POR M<sup>2</sup> EN BASE A INSTALACIONES CONOCIDAS.

DENSIDADES DE CARGA ESTIMADAS EN VARIAS INDUSTRIAS

INDUSTRIAS (E. U.) (ALUMBRADO Y FUERZA)

TIPO DE PLANTA	VOLT-AMPERS DEMANDADOS VA/m <sup>2</sup>
FABRICA DE AEROPLANOS	162 - 270
FABRICA AZUCAR (REMOLACHA)	200
FABRICA DE PAPEL	150
FABRICA TEXTIL	130
MANUFACTURERA DE CIGARRILLOS	
MANUFACTURA EN GENERAL, QUIMICOS, EQUIPO ELECTRICO	108
TALLER DE REPARACION DE MAQUINAS, FABRICACION DE PEQUEÑOS APARATOS.	80
MANUFACTURA DE LAMPARAS	54
MANUFACTURA DE PEQUEÑOS COMPONENTES	38

PARA LAS CARGAS DE ALUMBRADO EN SI, SE PUEDE CONSULTAR LA SECCION 4 DEL VOLUMEN "APPLICATION VOLUME" DEL IES LIGHTING HANDBOOK, EDICION 1981.

### DETERMINACION DE LA DEMANDA

LA SUMA DE LOS VA NOMINALES DE LAS CARGAS PROPORCIONARA LA CARGA CONECTADA TOTAL. DADO QUE ALGUNOS EQUIPOS OPERAN A MENOS DE SU CAPACIDAD      PLENA Y OTROS LO HACEN INTERMITENTEMENTE, LA DEMANDA RESULTANTE ES MENOR QUE LA CARGA INSTALADA.

### DEFINICIONES

Demanda. La carga eléctrica en      las terminales de salida, promediada sobre un específico intervalo de tiempo ( KVA, A, KW, etc.) El período de tiempo es de 15 minutos, 1/2 horas o 1 hora.

Carga Pico. La máxima carga consumida o producida por una unidad o grupo de unidades en un período de tiempo establecido. Puede ser la máxima carga instantánea o la máxima carga promedio durante el período.

Demanda Maxima. La mayor de las demandas que han ocurrido durante un específico período de tiempo (para la Compañía Suministradora éste puede ser de 1 mes).

Factor de Demanda. La razón de demanda máxima de un sistema a la carga total del sistema.

Factor de diversidad. La razón de la suma de las demandas individuales máximas de las subdivisiones de un sistema a la demanda máxima del sistema total.

Factor de Carga. La razón de la carga promediada sobre un cierto período de tiempo a la carga pico ocurrida en ese período.

PARA EFECTOS PRACTICOS SE ASUME UN FACTOR DE DIVERSIDAD DE 1.0 Y FACTORES DE DEMANDA SIMILARES A LOS SIGUIENTES:



FACTORES DE DEMANDA

TIPO DE CARGA	FACTOR DE DEMANDA ESTIMADO (EN PORCIENTO)
HORNOS DE ARCO	100
SOLDADURAS DE ARCO	30
HORNOS DE INDUCCION	80
ALUMBRADO	100
<u>MOTORES</u>	
1.- USO GENERAL, MAQUINAS HERRAMIENTAS, GRUAS, VENTILACION, COMPRESORAS, BOMBAS, ROLADORAS, ETC.	30
2.- PROCESOS SEMICONTINUOS, PAPELERAS, REFINERIAS, INDUSTRIA DEL HULE, ETC.	60
3.- PROCESOS CONTINUOS, TEXTILES, PLANTAS QUIMICAS, ETC.	90
SOLDADURAS DE RESISTENCIA	20
HORNOS DE RESISTENCIAS, CALENTADORES, FUNDIDURAS	80

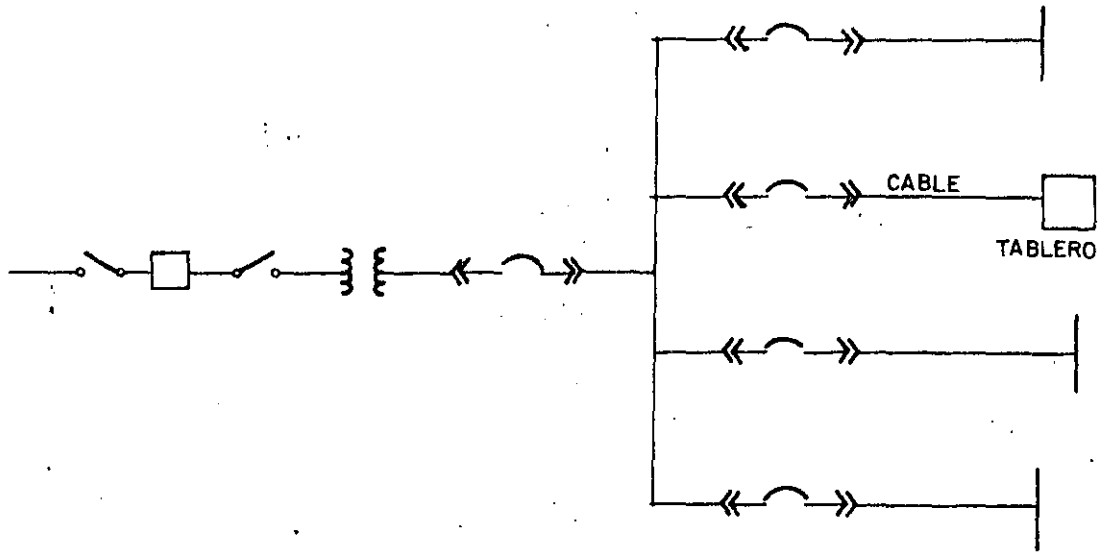
SISTEMAS O ARREGLOS ELECTRICOS

INVESTIGUE LOS DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION Y SELECCIONE EL MAS ADECUADO A LOS REQUERIMIENTOS DE SU PLANTA.

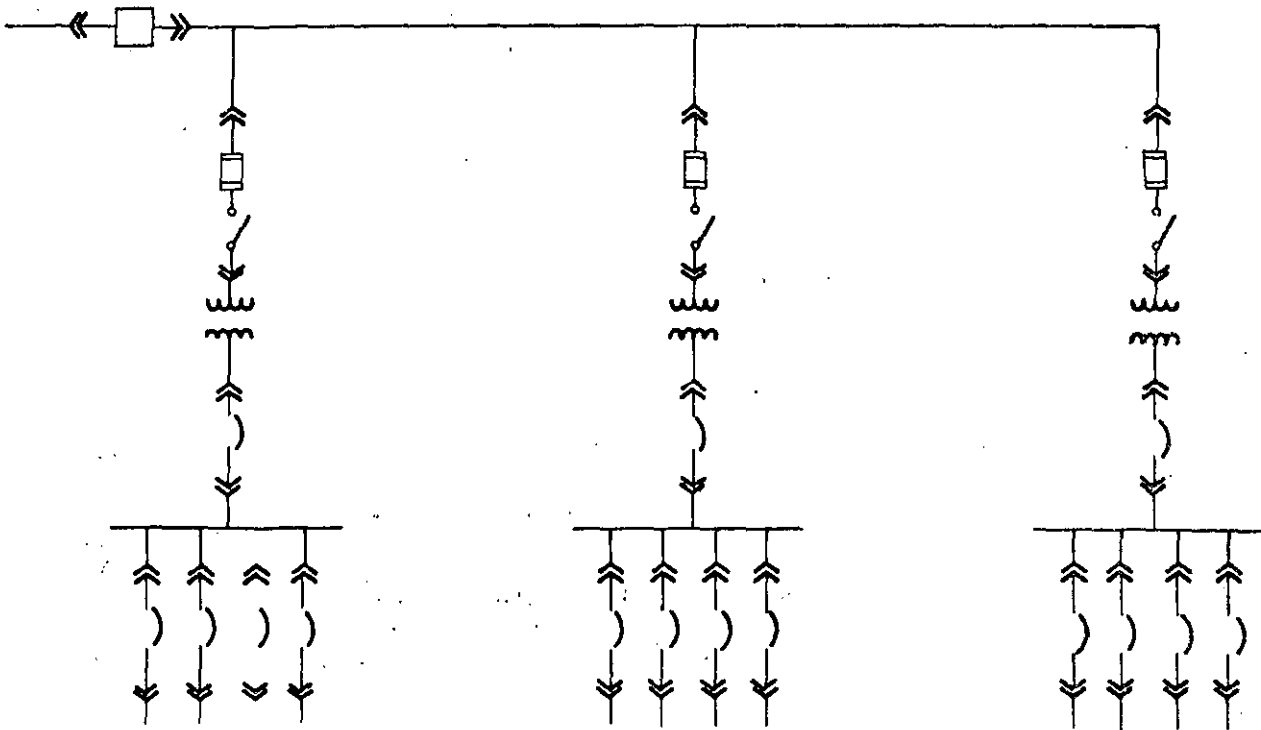
ESTO DEPENDE DEL PROCESO DE MANUFACTURA. EN GENERAL, UN SISTEMA ES MAS COSTOSO MIENTRAS MAS CONFIABLE.

ALGUNOS PROCESOS NO SON AFECTADOS POR LAS INTERRUPCIONES. UN SISTEMA RADIAL PUEDE APLICARSE EN ESTE CASO, OTROS NO TOLERAN INTERRUPCIONES (CEMENTERAS, FUNDICIONES GENERACION ELECTRICA) Y REQUIEREN EL SISTEMA MAS CONFIABLE POSIBLE, CON FUENTES DE EMERGENCIA.

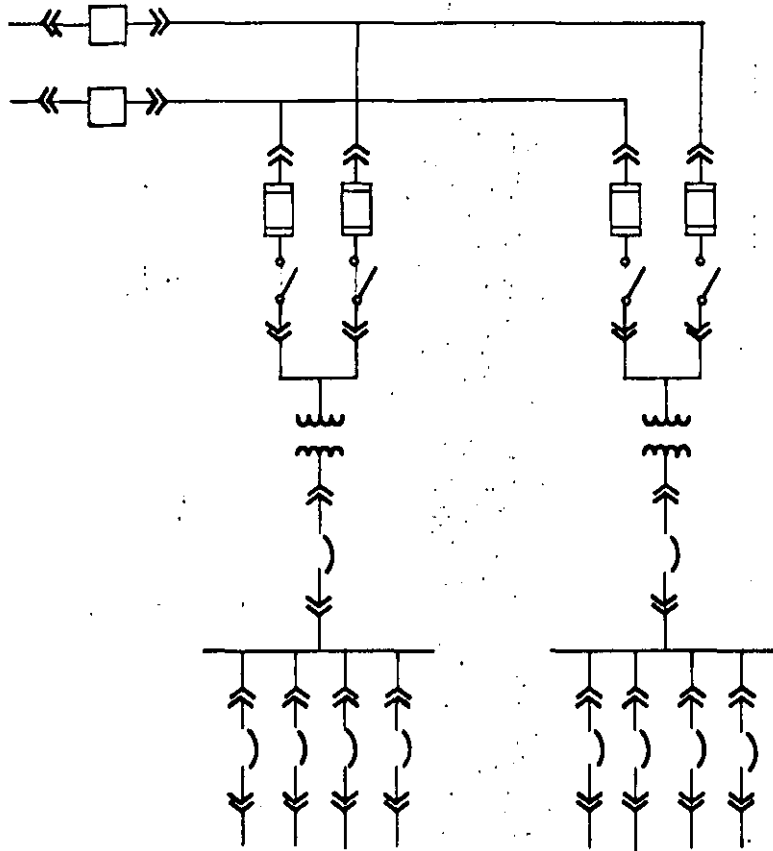
PARA DAR MANTENIMIENTO A SISTEMAS QUE ALIMENTAN PROCESOS CONTINUOS SE REQUIEREN SISTEMAS DOBLES, DISEÑADOS PARA TRABAJAR SOBRE ELLOS CON SEGURIDAD. UN SISTEMA QUE NO PUEDE SER MANTENIDO POR RAZONES DE CONTINUIDAD EN EL PROCESO, ES UN MAL SISTEMA.



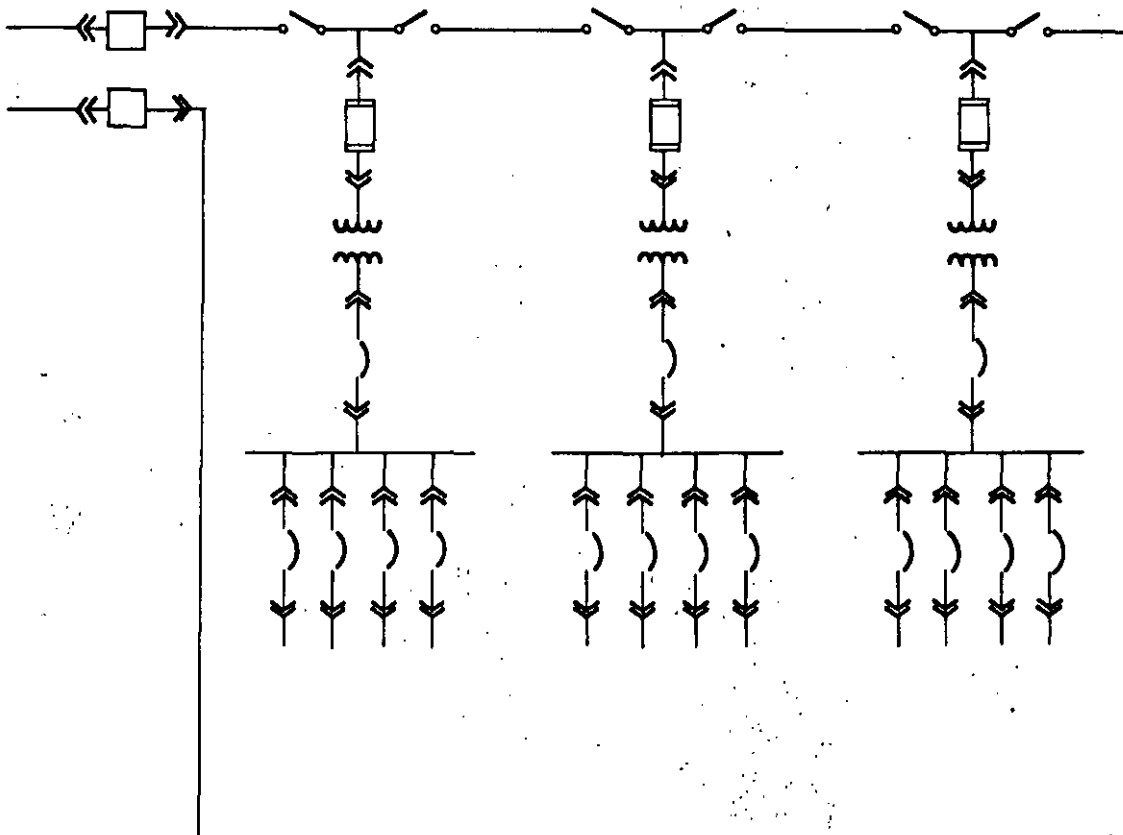
SISTEMA RADIAL SIMPLE



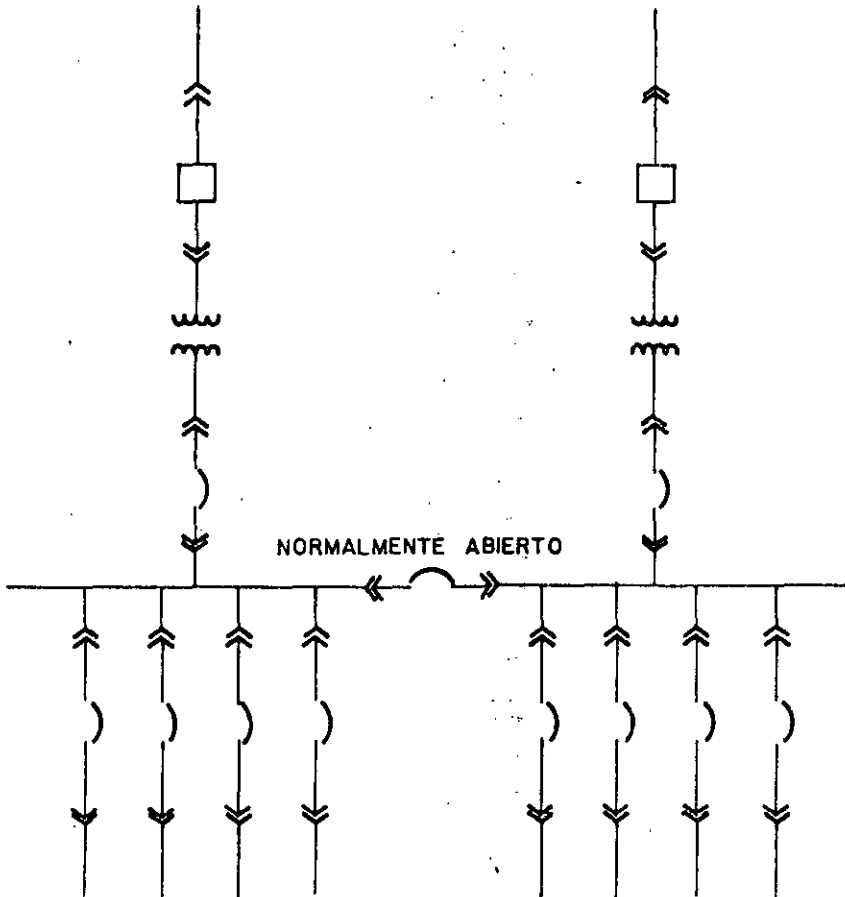
SISTEMA RADIAL EXPANDIDO



SISTEMA PRIMARIO SELECTIVO



SISTEMA PRIMARIO EN ANILLO



SISTEMA SECUNDARIO SELECTIVO

11-17

ALIMENTADORES  
PRIMARIOS

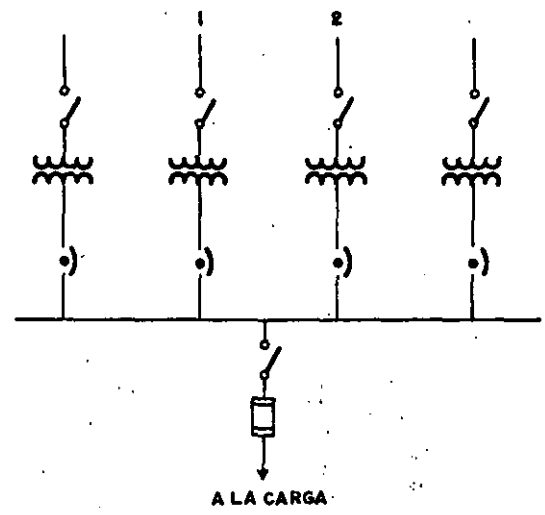
DESCONECTOR

TRANSFORMADOR  
DE DISTRIBUCION

PROTECTOR DE  
RED

BARRA  
SECUNDARIA

ALIMENTADORES  
SECUNDARIOS



### RED SECUNDARIA CON PROTECTORES

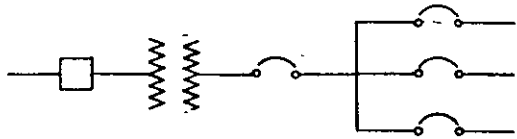
CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

## SISTEMA

## VENTAJAS Y USOS

## DESVENTAJAS

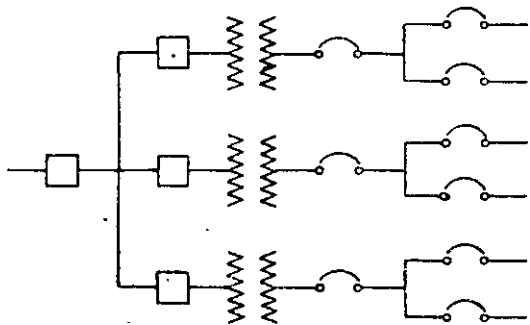
## 1.- RADIAL



EL MAS ECONOMICO  
OPERACION Y EXPANSION SIMPLE  
SATISFACTORIO PARA PEQUEÑAS INDUS  
TRIAS, DONDE EL PROCESO PUEDE IN  
TERRUMPIRSE Y LA PLANTA PUEDE ALI  
MENTARSE CON UN SOLO TRANSFORMA--  
DOR.

CONFIABILIDAD BAJA SI NO SE  
USAN ELEMENTOS DE MUY BUENA  
CALIDAD  
UNA FALLA DE CUALQUIER ELE  
MENTO DEJA FUERA EL SISTEMA.  
EL EQUIPO DEBE DESCONECTAR  
SE PARA MANTENIMIENTO RUTI  
NARIO.

## 2.- RADIAL EXPANDIDO



MISMAS QUE EL CASO ANTERIOR  
SE UTILIZA CUANDO LA MAGNITUD DE  
LA CARGA REQUIERE USAR MAS TRANS  
FORMADORES.

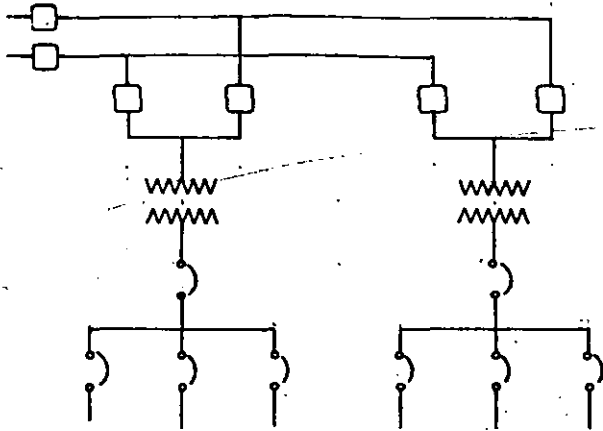
MISMAS QUE EL CASO ANTERIOR

SISTEMA

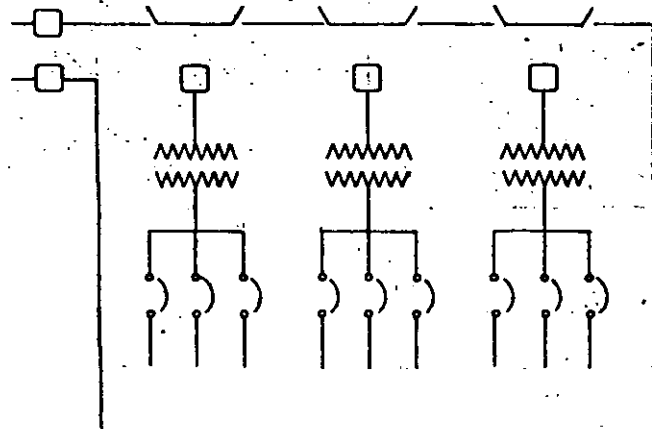
VENTAJAS Y USOS

DESVENTAJAS

3.- SISTEMA PRIMARIO SELECTIVO



4.- PRIMARIO EN ANILLO



SE TIENEN DOS FUENTES DISTINTAS DE ALIMENTACION EN EL PRIMARIO  
SE PUEDE DAR UN MEJOR MANTENIMIENTO AL EQUIPO PRIMARIO DE BUSES E INTERRUPTORES.

OFRECE LAS MISMAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA PRIMARIO SELECTIVO

LIGERAMENTE MAS ECONOMICO QUE EL PRIMARIO SELECTIVO.

MAS COSTOSO QUE EL RADIAL  
DESVENTAJA DE FALLA EN TRANSFORMADOR O EN TABLERO SECUNDARIO.

ENCONTRAR UNA FALLA EN UN CABLE DEL ANILLO ES DIFÍCIL.

ES PELIGROSO PORQUE SE PUEDE ENERGIZAR UN PUNTO POR DOS LADOS.

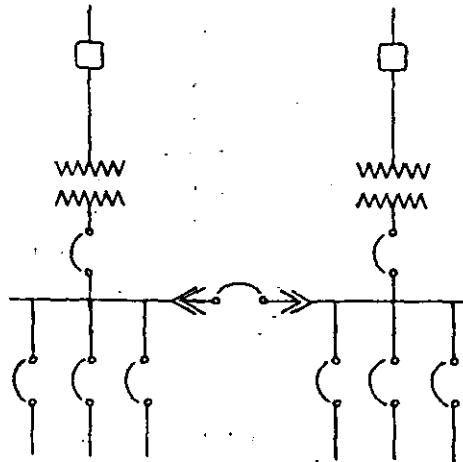


SISTEMA

VENTAJAS Y USOS

DESVENTAJAS

5.- SECUNDARIO SELECTIVO



SI FALLA EL SISTEMA PRIMARIO O EL TRANSFORMADOR, EL SERVICIO NO SE INTERRUMPE - ESTO REQUIERE:

- O SOBRE DIMENSIONAR LOS TRANSFORMADORES.
- O AIRE FORZADO DURANTE LA EMERGENCIA.
- O ECHAR FUERA CARGA NO ESENCIAL
- O SOBRECARGAR UN TRANSFORMADOR ACEPTANDO PERDIDA EN LA VIDA DEL MISMO.

COMBINADO CON EL PRIMARIO SELECTIVO ES EL SISTEMA MAS CONFIABLE.

MAS COSTO QUE LOS ANTERIORES (PRIMARIO Y SECUNDARIO SELECTIVO)

PARA DAR MANTENIMIENTO AL TABLERO DE BAJA TENSION REQUIERE ECHAR FUERA LA CARGA

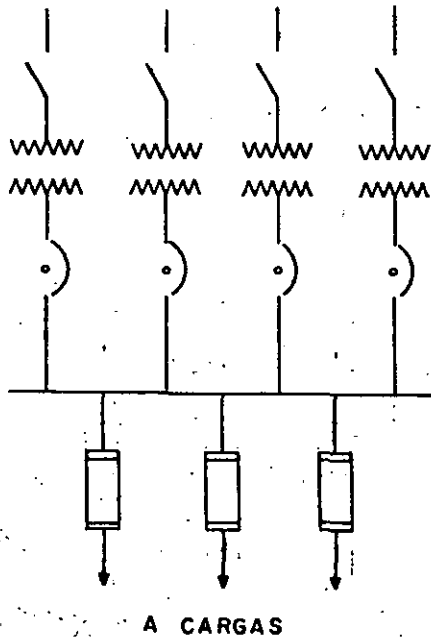
OPERACION MAS COMPLEJA

## SISTEMA

## VENTAJAS Y USOS

## DESVENTAJAS

6.- RED SECUNDARIA CON PROTECTORES.



+ MUY CONFIABLE NO HAY INTERRUPCIONES DE NINGUNA ESPECIE, A MENOS QUE FALLE ALGUNO DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS. ADECUADO PARA CARGAS GRANDES.

+ COSTOSO  
 + SI FALLA EL TABLERO SECUNDARIO, FALLA EL SISTEMA.  
 + ELEVADAS CORRIENTES DE DE CORTO CIRCUITO.

### LOCALIZACION DE EQUIPO

- EN GENERAL, ENTRE MAS CERCA SE LOCALICEN LOS TRANSFORMADORES DEL CENTRO DE CARGA DEL AREA SERVIDA, MENORES SERAN LOS COSTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION. EN CASO DE DUDA, ES IMPORTANTE HACER EVALUACIONES TECNICO ECONOMICAS.

- ES IMPORTANTE COORDINARSE DESDE EL PRINCIPIO CON LOS PROYECTISTAS PARA DEJAR ESPACIO DISPONIBLE PARA EQUIPOS, DUCTOS, REGISTROS, ETC, Y PLANEAR LOS TRABAJOS CIVILES RELACIONADOS.

### SELECCION DE TENSIONES

- SELECCIONE LAS MEJORES TENSIONES EN CADA UNO DE LOS NIVELES (BAJA Y MEDIA TENSION) LAS TENSIONES, DEL SISTEMA NORMALMENTE INFLUYEN MAS QUE NINGUN OTRO FACTOR, EN LA ECONOMIA, TANTO EN LA SELECCION DE EQUIPO, COMO EN LA EXPANSION DE LA PLANTA.

COMPAÑIA SUMINISTRADORA

TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE, DEBE EFECTUARSE UNA REUNION CON LA EMPRESA ELECTRICA PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DEL SERVICIO. RECUERDE QUE SI LA CARGA ES GRANDE, LA COMPAÑIA DE ELECTRICIDAD DEBE PLANEAR LOS CAMBIOS A SU RED DE DISTRIBUCION.

## DATOS QUE SE SUGIERE PROPORCIONAR:

- + Distribución de planta mostrando Edificios y estructuras.
- + Carga eléctrica de la planta, preferentemente demanda maxima en KVA.
- + Punto preferido para la conexión del servicio.
- + Arreglo electrico de la compañía suministradora que se desea.

+ Programa de construcción y de puesta en servicio.

+ Motores muy grandes fuera de lo usual que se tengan.

+ Factor de potencia esperado

+ Descripción de la carga conectada

LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA DEBE PROPORCIONAR LO .

+ Tensión de suministro o tensiones disponibles, propia o del cliente.

+ Ruta de las líneas y punto de suministro.

+ Tarifas

+ Opciones en el suministro: con subestación.

+ Espacio de la subestación si la provee la compañía.

+ Corto circuito y características del sistema en el punto de suministro.

+ Requerimientos para medición

+ Tipo de aterrizado en el sistema de suministro.

+ Requerimientos de coordinación con el sistema de protección de la compañía suministradora.

+ Datos sobre confiabilidad de la red, si es necesario.

+ Alimentaciones de respaldo, de ser necesarias.

GENERACION

DÉPENDIENDO DE LAS REGULACIONES DEL PAÍS Y DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA SE PUEDE DECIDIR Y BASADOS EN UN ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO SI:

- CONVIENE COMPRAR LA ENERGÍA
- CONVIENE TENER GENERACIÓN DE EMERGENCIA
- CONVIENE TENER ALGUNA GENERACIÓN RODANTE
- CONVIENE GENERAR TODA LA ENERGÍA.

POR LO COMÚN, LO MÁS ECONÓMICO ES COMPRAR LA ENERGÍA, PERO EXISTEN PROCESOS QUE REQUIEREN CONTINUIDAD, COMO SON LA INDUSTRIA DEL PAPEL, LA PETROQUÍMICA, LAS DEL CEMENTO Y ACERO, Y PUEDEN SER CANDIDATAS A LOS ÚLTIMOS CASOS. OTRAS INDUSTRIAS DESPERDICIAN MUCHO CALOR O VAPOR Y PODÍA UTILIZARSE ESTA ENERGÍA.

DIAGRAMA UNIFILAR

- ES UN ELEMENTO MUY IMPORTANTE EN LA PLANEACION
- LOS SIMBOLOS ESTAN DEFINIDOS EN EL IEEE STANDARD 315-1975 "GRAPHIC SYMBOLS FOR ELECTRICAL AND ELECTRONICS DIAGRAMS" (ANSI Y 32.2 - 1975)
- EL DIAGRAMA UNIFILAR DEBE CONTENER LO SIGUIENTE:
  - + Fuentes de potencia, tensiones y corrientes de C.C.
  - + Tipo, tamaño, capacidades y número de conductores.
  - + Características de transformadores (RVA, tensiones, impedancia, conexiones y métodos de puesta a tierra)
  - + Identificación de los aparatos de protección (relevadores, fusibles, interruptores).
  - + Relaciones de T.P. y T. C.
  - + Cargas
  - + Otros equipos conectados



ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO Y PROTECCIÓN

- CALCULE EL CORTO CIRCUITO DISPONIBLE EN LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA.

- DISEÑE SU SISTEMA DE PROTECCIÓN COMO UNA PARTE INTEGRAL AL MISMO Y NO COMO UN AGREGADO POSTERIOR.

EXPANSIÓN FUTURA

- SI ESTA DISEÑANDO LA EXPANSIÓN DE UN SISTEMA EXISTENTE, CUIDE SI EL EQUIPO SOPORTA LA CARGA ADICIONAL Y EL NUEVO CORTO CIRCUITO. CHEQUE CARACTERÍSTICAS DE CAPACIDAD NOMINAL, TENSION, CAPACIDAD INTERRUPTIVA, OPERACION DE INTERRUPTORES Y LA COORDINACION DE PROTECCIONES. ESTUDIE LA MEJOR MANERA DE CONECTAR LA NUEVA PARTE CON MINIMO COSTO DE CONSTRUCCION Y PERDIDAS DE PRODUCCION.

Si la planta es nueva, conviene prever que la carga en mayor o menor grado habrá de crecer.

Por lo tanto el sistema debe diseñarse para crecer. Con el diagrama unifilar, imagine como aparecería este si la carga se duplica o triplica ( Esto puede suceder en 15 o 20 años ) y replantee que preparaciones debe tener para estas condiciones, cuidando desde luego los costos.

También es conveniente incluir en el diagrama unifilar los puntos donde se desean hacer mediciones y sus características.

Lo mismo que, en su caso, si la instalación es geográficamente grande, debe incluirse su localización.

No olvidarse también de indicar las aplicaciones futuras que se hayan considerado o planes futuros.

SEGURIDAD

VERIFIQUE DE QUE SE USEN DISPOSITIVOS ADECUADOS DE SEGURIDAD EN TODAS LAS PARTES DEL SISTEMA.

COMUNICACIONES

DENTRO DE LA PLANEACIÓN DE LA PLANTA SE DEBE INCLUIR UN SISTEMA CONFIABLE DE COMUNICACIONES: TELEFONO, SONIDO, CIRCUITOS CERRADOS DE TELEVISION, INTERCOMUNICACIONES.

MANTENIMIENTO

DEBE PLANEARSE EL SISTEMA DE TAL FORMA QUE SE PUEDA EFECTUAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PROPORCIONANDO ESPACIO PARA TRABAJAR EN LOS LOCALES, ACCESO FACIL A INSPECCIÓN, FACILIDADES PARA PROBAR O TOMAR MUESTRAS DE MATERIALES, MEDIOS DE DESCONEXION PARA CUANDO SE TRABAJA EN EL EQUIPO.

El sistema de mantenimiento debe tambien planearse y puede incluir los siguientes objetivos : Limpieza, Control de Humedad, Ventilación Adecuada, Reducir Corrosión, Mantenimiento de Conductores, Inspecciones y Pruebas Rutinarias, - llevar records, Aplicacion de Codigos y Normas.

### SISTEMAS ELECTRICOS DE EMERGENCIA

Hemos visto hasta ahora diferentes arreglos que uno con respecto al otro nos indican mayor o menor confiabilidad-- dependiendo logicamente del costo de equipo utilizado y su -- instalación, además que, en caso de alguna falla de alguno de los equipos o materiales usados, el tiempo para restaurar el servicio es menor, estadísticamente hablando, segun el orden en que se han visto los diferentes arreglos o sistemas.

Pero, en cualquiera de las formas analizadas en que se necesite aumentar la Confiabilidad y la continuación del servicio en cualquier punto particular de utilización de la energía y que de acuerdo con las características de este servicio este deba ser de un mínimo de tiempo de interrupción o no interrumpible, si este fuera el caso.

Para lo anterior se pueden agregar sistemas de emergencia o de operación inmediata. La decisión en el uso de estos sistemas agregados dependerá y se justificará únicamente por su costo y por su necesidad en el proceso de la producción o de la operación.

El sistema de emergencia a seleccionar depende de lo que se espera que lleguen a efectuar. Al proyectar se deben considerar las necesidades como la de si el sistema normal de producción de operación puede tolerar una falla de energía de 1 milisegundo, 10 segundos, un minuto o más y por cuanto tiempo el sistema de emergencia o la instalación de reserva va a desarrollar sus funciones en horas, minutos o segundos.

Un sistema de emergencia desconectado es el que está en estado durmiente hasta que es llamado a operar como un motor generador de diesel que opera cuando ocurre la falla. Uno conectado es el que opera en todo momento como un inversor alimentado con C.C. a través de un cargador de batería y una batería en flotación que alimenta el inversor en caso de falla del sistema primario de alimentación.

Al diseñar y seleccionar un sistema de emergencia es necesario tomar en cuenta, además de su disponibilidad, también su confiabilidad. Por ejemplo, un equipo de transferencia tiene componentes que tienen una probabilidad de falla en si mismos que en realidad reduce la confiabilidad del conjunto en la energía entregada o sea que con el transfer conectado, el sistema primario es menos confiable porque este en si es un punto de falla que no existiría sino hubiera un sistema de emergencia.

Es necesario sopesar los convenientes e inconvenientes y en lo posible efectuar un estudio de confiabilidad del equipo en que apoyar la decisión y esto se logra con estadísticas de fallas de equipo que están en poder de algunos fabricantes y que en México sería muy interesante desarrollar a nivel de gobierno o usuarios o de la propia industria la que se planee efectuar toda la instalación del sistema eléctrico.

Se debe recalcar pues, que los sistemas de emergencia deben estar en disponibilidad para proporcionar energía en forma confiable para sobrellevar problemas ocasionados por interrupciones que van de milisegundos a varias horas.

Más de un tipo de sistemas puede ser útil para una -- aplicación. La selección del más apropiado dependerá del costo inicial, de los costos de operación y mantenimiento, necesidades de combustible, confiabilidad del sistema, calidad de la energía entregada, capacidad para expansiones y considera- ciones ecológicas en su caso.

DESCRIPCION Y APLICACION DE ALGUNOS DE LOS SISTEMAS DE EMER-  
GENCIA MAS USUALES :

1.- Generadores impulsados por motor de combustión  
interna.-

Estas unidades se pueden conseguir desde 1 KW a varios miles de KW de capacidad y usan como combustible en los moto- res al diesel, gasolina, gas natural o gas LP ( bajo propano ). Bien mantenidos pueden entrar en servicio entre 8 y 15 segundos.

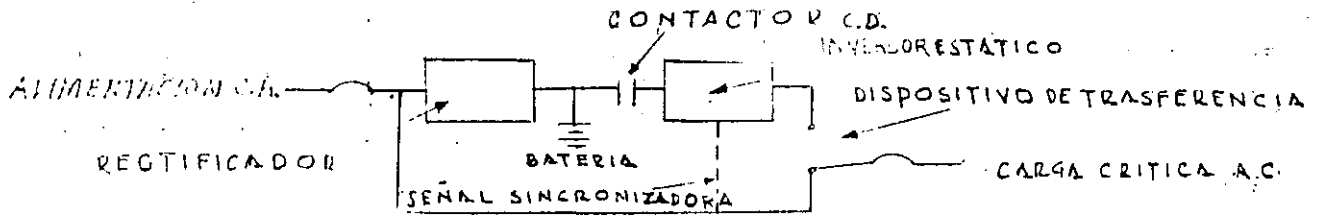
Las unidades diesel son generalmente para trabajo pesado, el combustible es el de menor costo y el peligro de incendio es menor que los que usan gasolina. Estas son usuales hasta los - 100 KW y tienen un costo inicial menor que las de diesel. Las- unidades de gas natural o LP fáciles de arrancar, aún después - de periodos largos sin uso, pero tienen el problema de que el - suministro de combustible es más conflictivo cuando se necesita el sistema.

La aplicación de estos tipos de moto - generadores es en sistemas desconectados para reducir el tiempo de interrupción o en combinación con sistemas de energía mecánica almacenada ( Volantes ), con lo cual se mejora la disponibilidad y confiabilidad del conjunto.

2.- Turbo - generadores : Se utilizan turbinas de vapor o gas como motores. Las de vapor se utilizan unicamente cuando hay disponibilidad de este en el mismo proceso productivo. Los tamaños usuales van desde 100 hasta varios miles de KW en las de gas, siendo estas las más comunes y usan diferentes grados y tipos de combustible líquido, así como gas natural o LP. Estas unidades pueden estar en operación en 20 segundos las unidades chicas y hasta 5 minutos para unidades grandes. Por su peso y tamaño pueden instalarse en los techos de edificios ya que su peso / KW es menor que las de moto - generadores de combustión interna.



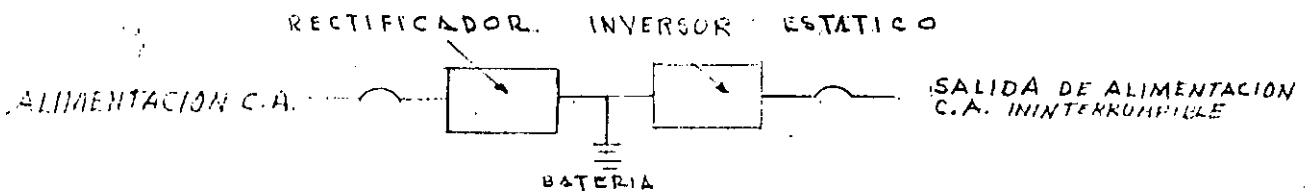
3.- Sistemas de Inversor Bateria.



SISTEMA CON INVERSOR  
INTERRUPCIÓN ESTÁTICA CORTA

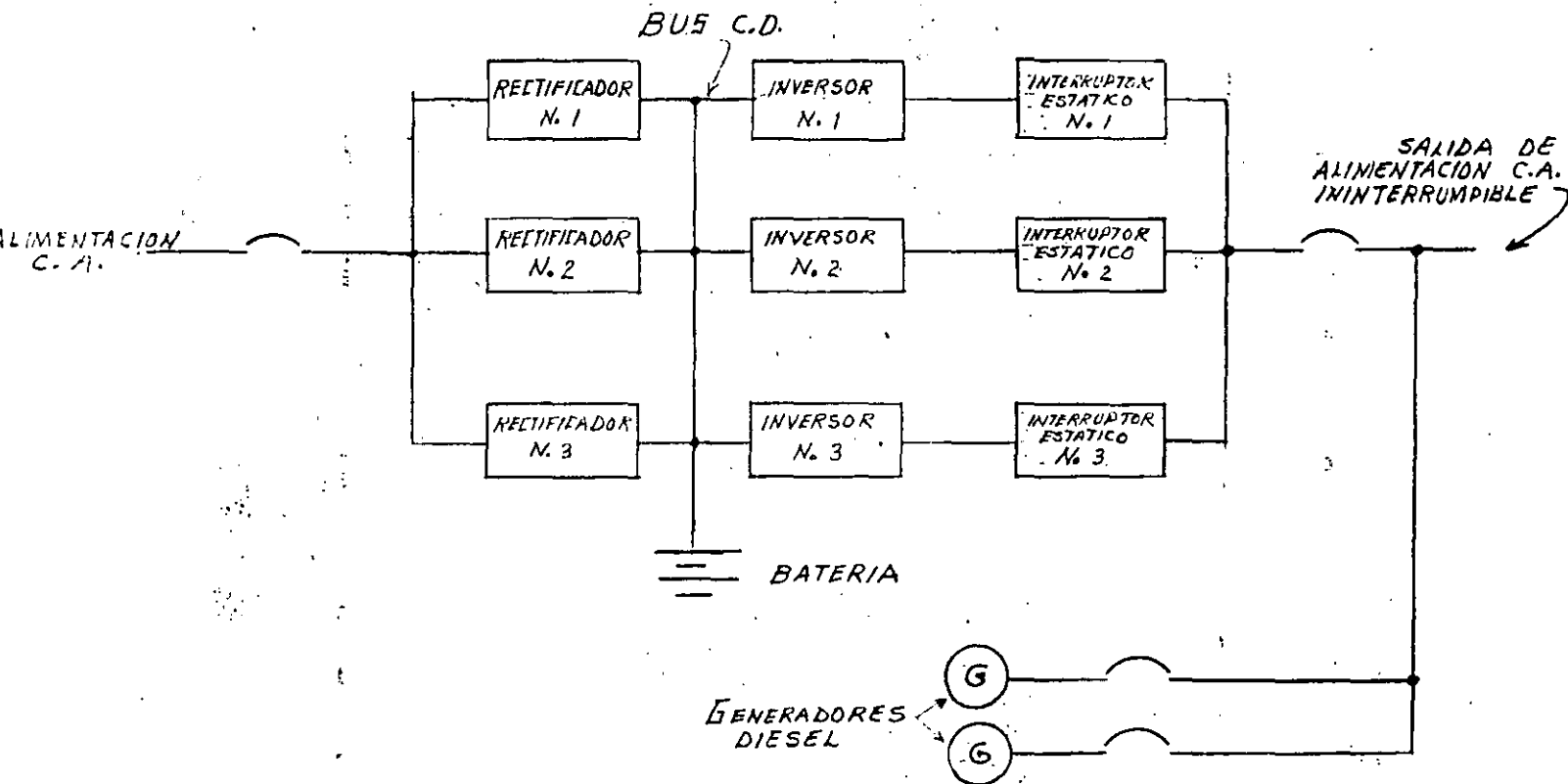
En la figura se muestra un sistema que no es ininterrumpible ya que el tiempo de transferencia es de 60 a 190 milisegundos. El contactor cierra cuando ocurre una interrupción en el sistema primario y está dentro del circuito para prevenir una energización continua del inversor estático cuya eficiencia es aproximadamente 70% y por lo tanto, desperdicia energía -- cuando energizado.

La siguiente figura muestra el sistema más ampliamente usado para el suministro de energía sin interrupción.



La carga practicamente no sufre interrupciones, disturbios transitorios, ni variaciones de frecuencia o voltaje. El costo depende del tamaño y configuración y tamaño de baterías. Una falla en el inversor causa la perdida en el suministro hasta su separación o hasta que el sistema primario pueda ser conectado directamente a la carga. En otra conferencia -- este sistema será descrito con más amplitud.

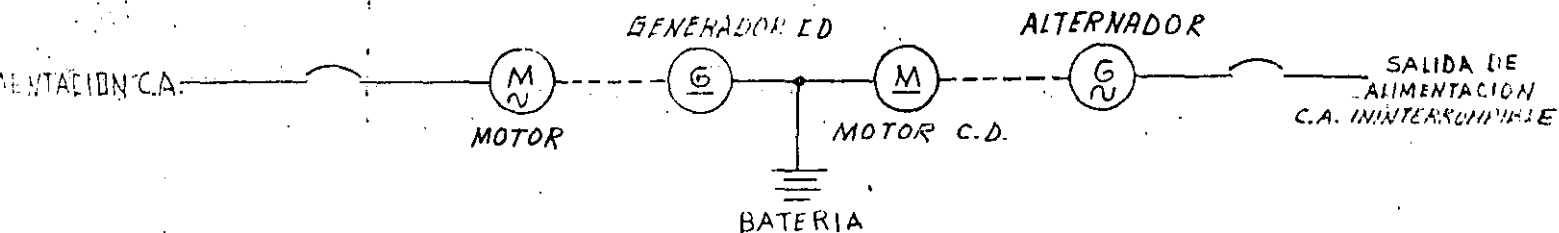
La figura siguiente muestra un arreglo de equipo ininterrumpible redundante con interruptores estáticos para proteger contra fallas de los inversores.



Las baterías de este sistema se requieren para suministrar energía hasta que los generadores de motor diesel entran en servicio. Este sistema es más confiable que el anterior. -- pero también es más costoso, ya que dependerá de la redundancia, equipo auxiliar y tamaño de la batería.

Son imponentes los requerimientos para la instalación de estos equipos ya que, por ejemplo, una batería para suministrar energía a un inversor de 250 KW durante 1 hora pesa 25 Ton.

Sistemas Mécanicos Ininterrumpibles



Este diagrama muestra el caso Típico. El motor de C.A. mueve a un generador de C.C., que a su vez entrega energía para mover el motor de C.C. que mueve un generador de C.A. y la batería suministra a su vez energía al motor de C.C. en caso de falla en el sistema primario. El generador de C.A. provee de energía ininterrumpible a la carga. El hecho de que no haya partes móviles en los inversores estáticos y rectificadores ha probado ser un punto importante para preferir estos sobre los mecánicos rodantes.

Con esto hemos querido dar algunos aspectos de los muchos sistemas que se pueden formar según necesidades de la operación y su costo inicial y de operación y mantenimiento.

En el uso de equipo y materiales, al planear el sistema, también podemos afirmar que las tendencias actuales cada vez se inclinan más al uso de :

- 1.- Tableros de distribución tipo Metal-Clad, que son los tableros blindados, con -- entrecierres y algunos con interruptores con control eléctrico y operación re -- mota.
- 2.- Centros de control de motores tipo draw-out o de los que están en compartimientos independientes, retirables facilmente, para efectuar mantenimiento en forma - - - eficiente y segura.
- 3.- Interruptores en aire en lugar de los interruptores en aceite o la tendencia - - actual de interruptores con cámaras en vacío.
- 4.- Para el uso en locales cerrados se usan transformadores tipo Seco o en Askarel o Pyranol, aunque estos líquidos emiten gases venenosos y se está prohibiendo su uso actualmente.  

Los transformadores tipo seco son 15 a 20% mas caros que los normales, - pero son mas baratos que los líquidos mencionados. Se ha iniciado el uso de - - - transformadores sellados con gas inerte en el interior, como el SF-6 pero son de 30 a 40% más caros.
- 5.- Cuando las cargas varían de posición o de magnitud se ha hecho más común el uso - de buses blindados en la distribución. En estos es factible de instalar interrup- tores con solo introducirlos en forma de contacto y clavija, o sea, contactos con clips.
- 6.- Capacitores que reducen costo de la energía y pérdidas en transformadores y ali - mentadores y que aumentan la capacidad de transformación y conducción y que - - - veremos en plática aparte.

- 7.- Reguladores de voltaje donde las variaciones de voltaje son críticas sobre todo en los equipos automatizados modernos. También se está acrecentando el uso de cambiadores de derivaciones automáticos bajo carga, en transformadores, con los resultados deseables de regulación.

También debemos hacer hincapié, al planear su sistema y su construcción, de las siguientes medidas de seguridad, entre otras, para la operación y mantenimiento:

- 1.- Los equipos de interrupción deben ser capaces siempre de operar bajo las más severas condiciones de operación a los cuales se le vaya a exponer.
- 2.- En partes vivas debe protegerse contra contactos accidentales con barreras, gabinetes o situarlos fuera de alcance en niveles más elevados.
- 3.- Evitar la operación con carga de dispositivos que no están hechos para eso, como cuchillas desconectadoras. En estos casos es conveniente un entrecierre para evitar la operación hasta no desconectar el interruptor correspondiente al circuito.
- 4.- Espacio suficiente sin obstáculos en las áreas donde está el equipo eléctrico localizado, sobre todo en lugares cerrados.
- 5.- Suficientes salidas en número y tamaño, diseñadas con puertas con apertura hacia afuera y cerraduras de apertura tipo pánico o emergencia.
- 6.- Letreros y etiquetas con nomenclatura de equipo y cables para dar instrucciones permanentes y la debida identificación de las partes.
- 7.- Los sistemas deben diseñarse siempre para operar con partes nuevas y en equipos debidamente aterrizados.

El mantenimiento debe hacerse cuando el equipo correspondiente este desenergizado en caso que no pueda hacerse así, deberá entrenarse al personal de mantenimiento para trabajar en partes vivas con el equipo y herramientas de seguridad necesarias para cada caso.

- 8.- Deben usarse guantes de hule, protegidos por guantes de cuero para no dañarlos, al operar equipos vivos sobre todo en voltajes mayores de 600 volts.
- 9.- Debe instalarse alumbrado de emergencia en los lugares clave para fácil tránsito en lugares peligrosos.

Resumiendo en parte lo que se ha platicado, podemos aconsejar lo siguiente, para planear un Sistema Eléctrico Industrial.

- 1.- Obtenga una distribución de planta y marque en ella las diferentes cargas y con ello determine el total de carga instalada en HP, KW y KVA, de fuerza.
- 2.- Estime la cargas de alumbrado, ventilación o aire acondicionado y otras diferentes a las de fuerza en lo posible de datos reales o de tablas y datos estadísticos.
- 3.- Determine la carga total conectada y calcule la demanda máxima usando el factor de demanda, con los criterios establecidos.
- 4.- Investigue cuales son las cargas que son poco comunes como pueden ser el arranque de grandes motores, operación de hornos de arco o soldadoras y condiciones de operación especiales como motores auxiliares de las calderas o cargas que deben mantenerse en operación bajo todas condiciones y también las cargas que tienen un ciclo especial en su uso.
- 5.- Estudie los varios tipos de sistemas de distribución y seleccione el sistema o la combinación de sistemas que mejor se acoplen a los requerimientos de su planta y origine su diagrama unifilar preliminar.
- 6.- Obtenga de la Cía. Suministradora del servicio, el dato de voltaje de suministro, comportamiento de sus líneas sistemas disponibles, aterrizaje de neutros, protecciones, mediciones y los requerimientos físicos del equipo.

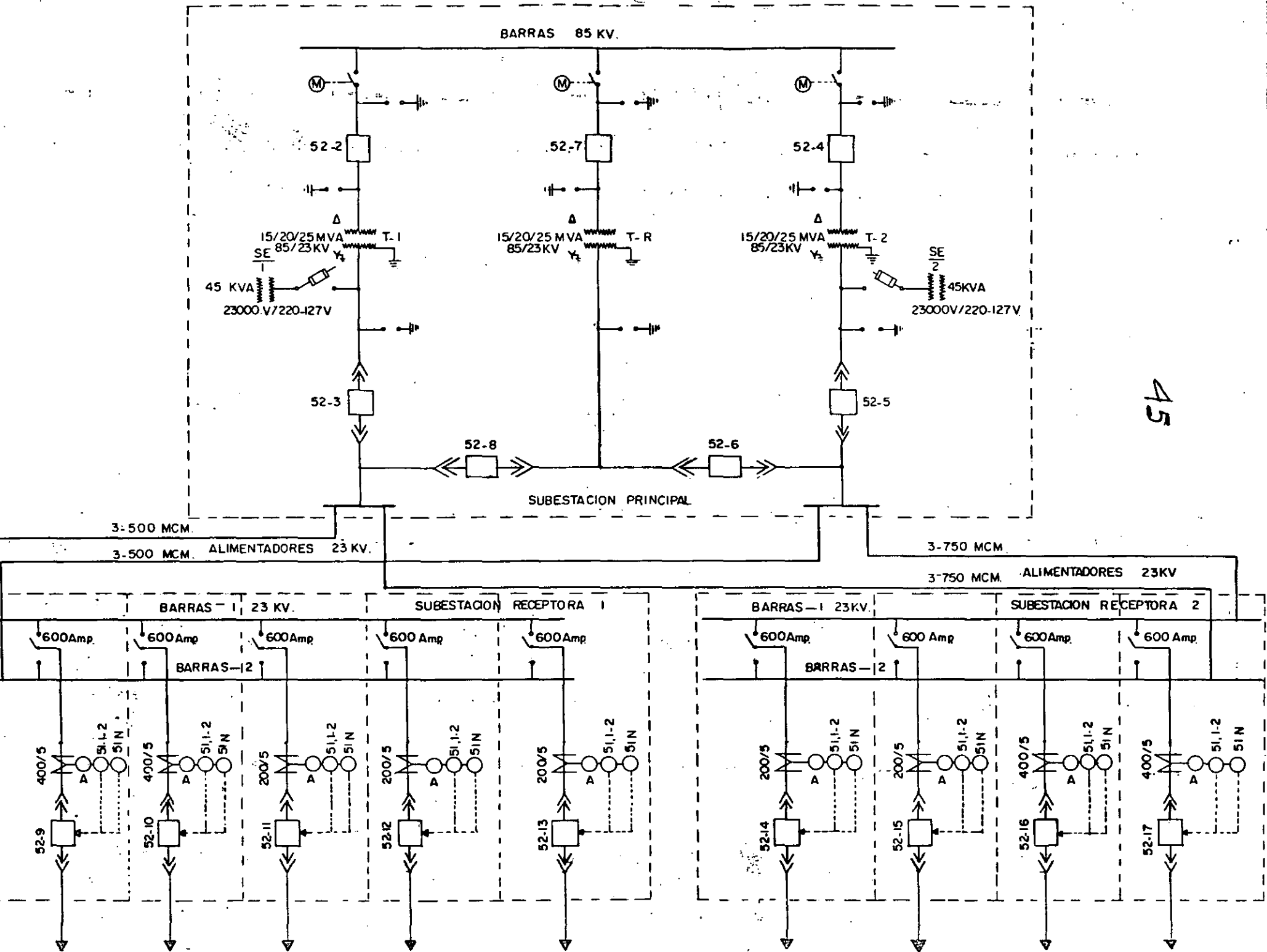
También capacidades interruptivas de interruptores así como las potencias de C.C. presente y los que se esperen al futuro en el punto de suministro y las tarifas que se aplicarían en el caso específico.

- 7.- Si se considera generación de energía para usos propios, debe determinarse los KVA requeridos, incluyendo la carga para emergencia, el voltaje de generación y los equipos accesorios correspondientes a protecciones, mediciones, relación de voltaje, sincronización y aterrizaje. Esto debe de revisarse con la Cía suministradora en caso de operación, en paralelo, para acoplarse a sus necesidades,
- 8.- Es indispensable hacer el análisis de costos correspondientes a los estudios de los diferentes niveles de voltaje y los varios arreglos de equipos, para poder justificar la selección de equipo y voltaje. El estudio debe ser hecho a base de costo instalado, incluyendo todos los componentes en esa parte o en todo el sistema.
- 9.- Revise los cálculos de C.C. , para asegurarse que los interruptores son de la capacidad adecuada , revise también la selectividad de los dispositivos de protección durante la operación normal y las condiciones de disturbio o falla.
- 10.- Calcule la distribución y caída de voltaje en varios puntos críticos.
- 11.- Igualmente determine los requerimientos de los diferentes componentes del sistema eléctrico con atención a las condiciones de operación y cuidado del equipo.
- 12.- Revise las Normas de Instalaciones Eléctricas en vigor para cumplir con las mismas y con los demás códigos relacionados.
- 13.- Revise que todos los equipos tienen incorporados todos los aditamentos de seguridad en todos los componentes del sistema, según se ha planeado.



- 14.- Elabore las especificaciones del equipo.
- 15.- Obtenga las dimensiones del equipo y elabore los dibujos de todo el sistema.
- 16.- En su caso, determine si el equipo existente es capaz de soportar las necesidades de la carga adicional, revisando su voltaje de operación, capacidad interruptiva y capacidad de conducción de corriente.
- 17.- Programe con caso de aplicaciones, que las interconexiones entre lo actual -- y lo nuevo se hagan con un número de tiempo de interrupción.

Todo este procedimiento para planear el sistema no asegura el éxito por si -- mismo, sino que debe estar complementado y cimentado en un buen criterio de ingeniero.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

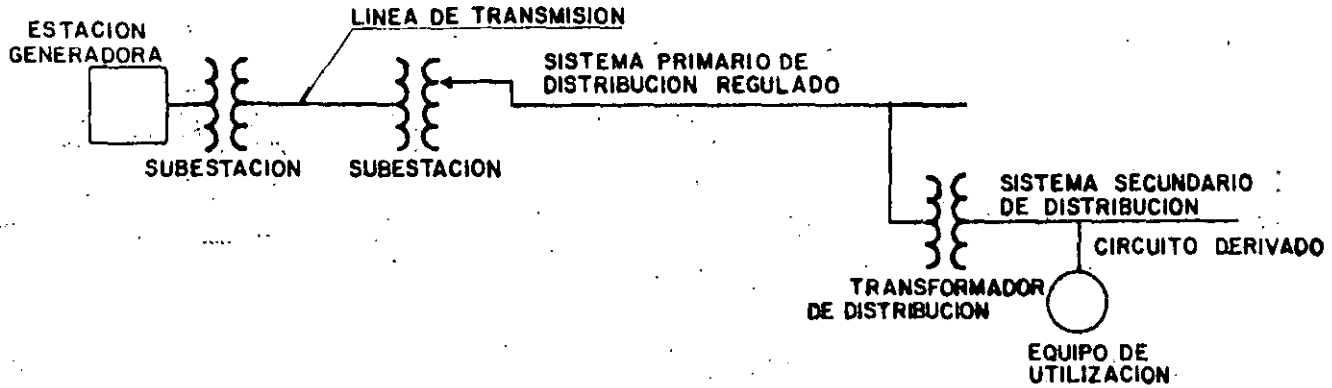
INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 3: CONSIDERACIONES SOBRE LA TENSION EN EL  
SISTEMA

ING. ANDRES D. CHAVEZ SAJUDO

MAYO, 1985

11-1



**SISTEMA TIPICO DE UNA COMPAÑIA ELECTRICA EN GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION.**

2.1.- TENSIONES NORMALIZADAS

TENSIONES MAS USUALES EN MEXICO

TRANSMISION (C.F.E.) ( VOLTS )	DISTRIBUCION PRIMARIA		DISTRIBUCION SECUNDARIA	
	C.F.E. (VOLTS)	INDUSTRIA (VOLTS)	C.F.E. (VOLTS)	INDUSTRIA (VOLTS)
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">EXTRA ALTA TENSION 400 000 V</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">ALTA TENSION ( 230 KV.)</div> 230,000 115,000 85,000 69,000				
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">MEDIA TENSION (34.5KV)</div> 34,500(1) 23,000 13,800	23000 13800 4160 2400		
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">BAJA TENSION (1000 V)</div> 220-127	480-277 440 + 220-127
NOTAS: (1) TENSION DE SUBTRANSMISION (+) TIENDE A DESAPARECER				

DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DE LA PLANTA, DE LAS  
COMPAÑIAS DE SERVICIO ELECTRICO Y DE EVALUACIONES ECONOMICAS  
QUE CONSIDEREN LAS TARIFAS Y LOS COSTOS DE EQUIPO, LA PLANTA  
INDUSTRIAL PODRIA CONECTARSE A CUALQUIERA DE LAS TENSIONES DEL  
SISTEMA:

PLANTAS PEQUEÑAS, O DE ALGUNOS  
CIENTOS DE KVA. COMO MAXIMO

SE PUEDEN CONECTAR A LA RED  
DE BAJA TENSION, O A UN TRANS  
FORMADOR ESPECIAL DE LA  
COMPAÑIA ELECTRICA, O TENER  
SU PROPIO TRANSFORMADOR Y  
RED SECUNDARIA.

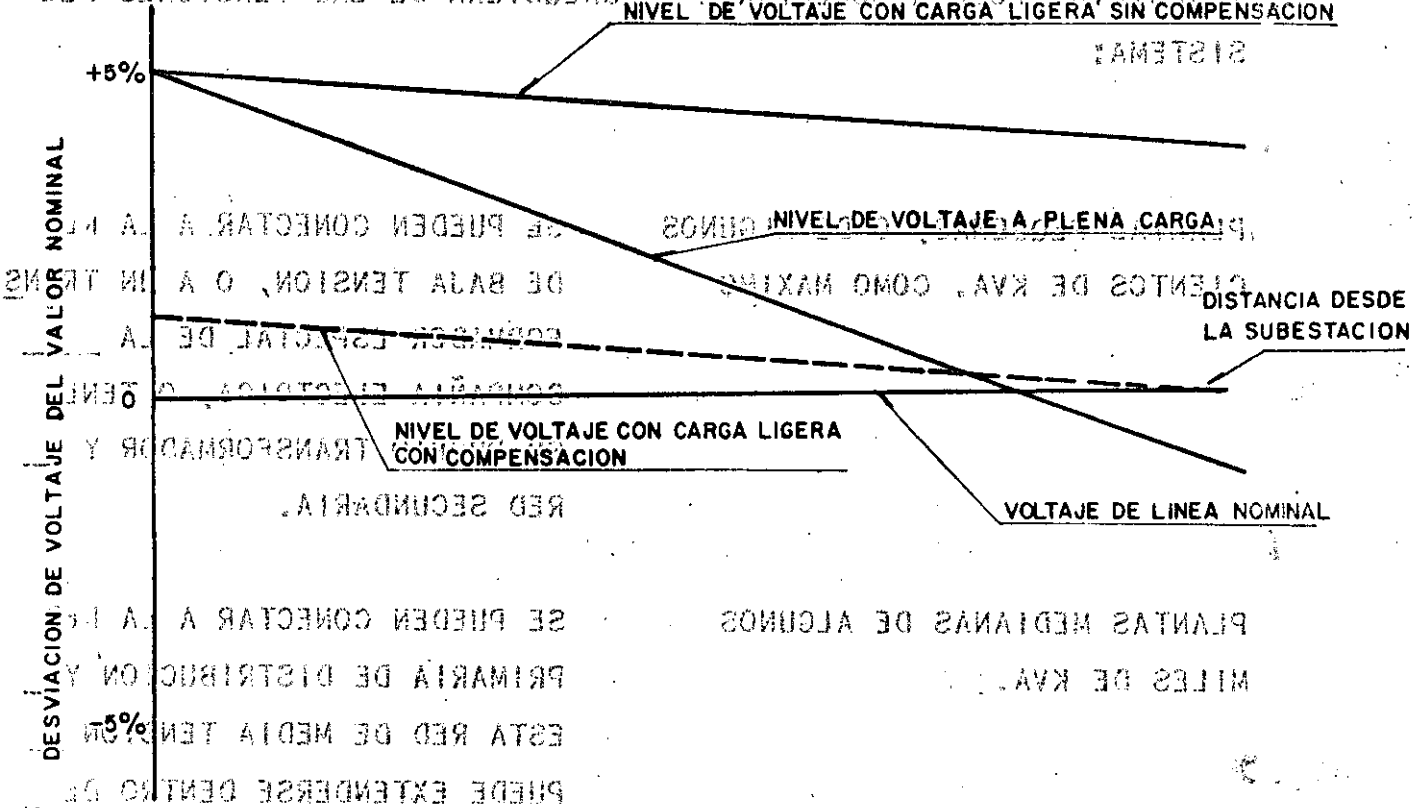
PLANTAS MEDIANAS DE ALGUNOS  
MILES DE KVA.

SE PUEDEN CONECTAR A LA RED  
PRIMARIA DE DISTRIBUCION Y  
ESTA RED DE MEDIA TENSION  
PUEDE EXTENDERSE DENTRO DE  
LA FABRICA. LA PLANTA PRO--  
PORCIONA LOS TRANSFORMADORES  
DE MT/BT Y LA RED DE DISTRI-  
BUCION SECUNDARIA.

PLANTAS GRANDES DE VARIOS MI-  
LES DE KVA.

SE PUEDEN CONECTAR AL SISTE-  
MA DE M.T. O AL SISTEMA DE  
TRANSMISION Y PUEDEN PROPOR-  
CIONAR LA SUBESTACION REDUC-  
TORA, LA RED DE DISTRIBUCION  
PRIMARIA, LOS TRANSFORMADO--  
RES MT/BT Y LAS REDES SECUN-  
DARIAS.

DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DE LA PLANTA, DE LAS  
 COMPAÑÍAS DE SERVICIO ELÉCTRICO Y DE EVALUACIONES ECONÓMICAS  
 QUE CONSIDEREN LAS TARIFAS Y LOS COSTOS DE EQUIPO, LA PLANTA  
 INDUSTRIAL PODRÍA CONECTARSE A CUALQUIERA DE LAS TENSIONES DEL



**EFFECTO DE COMPENSACION POR REGULACION EN SISTEMAS DE VOLTAJE  
 DISTRIBUCION PRIMARIA  
 CASO IDEAL**

DE MTBT Y LA RED DE DISTRIBUCION SECUNDARIA.

2.2.- LIMITES DE TOLERANCIA EN TENSIONES

- SE INTENTARA EXPLICAR LA NORMA ANSI C84.1-1970 QUE ESTABLECE LOS LIMITES DE TOLERANCIA EN VOLTAJES EN E.U.
- ESTA NORMA TIENE ORIGEN EN LAS TOLERANCIAS DE  $\pm 10\%$  PERMITIDAS PARA MOTORES, DADO QUE INTEGRAN LAS CARGAS MAS IMPORTANTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION INDUSTRIAL.
- SE USA LA TENSION BASE DE 120 VOLTS. POR EJEMPLO, UN MOTOR EN UN SISTEMA A 480 V. TIENE UNA TENSION DE PLACA DE 460, O SEA

$$\frac{480}{120} = 4$$

$$\frac{460}{4} = 115$$

..... QUE REFERIDO AL VALOR BASE SERIA 115V.

- CONSIDERANDO EL 10% ARRIBA Y 10% ABAJO SE ESTABLECIO EL RANGO DE TOLERANCIA "B" DE LA NORMA ANSI MENCIONADA.



$$115 + (0.1) (115) = 126.5 \quad 127$$

$$115 - (0.1) (115) = 103.5 \quad 104 \text{ V}$$

- ESTA TOLERANCIA DE 23 V TIENE QUE DIVIDIRSE ENTRE:

+ EL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO: 13V

+ TRANSFORMADOR MT/BT: 4V

+ RED DE DISTRIBUCION SECUNDARIA: 6V (5%)

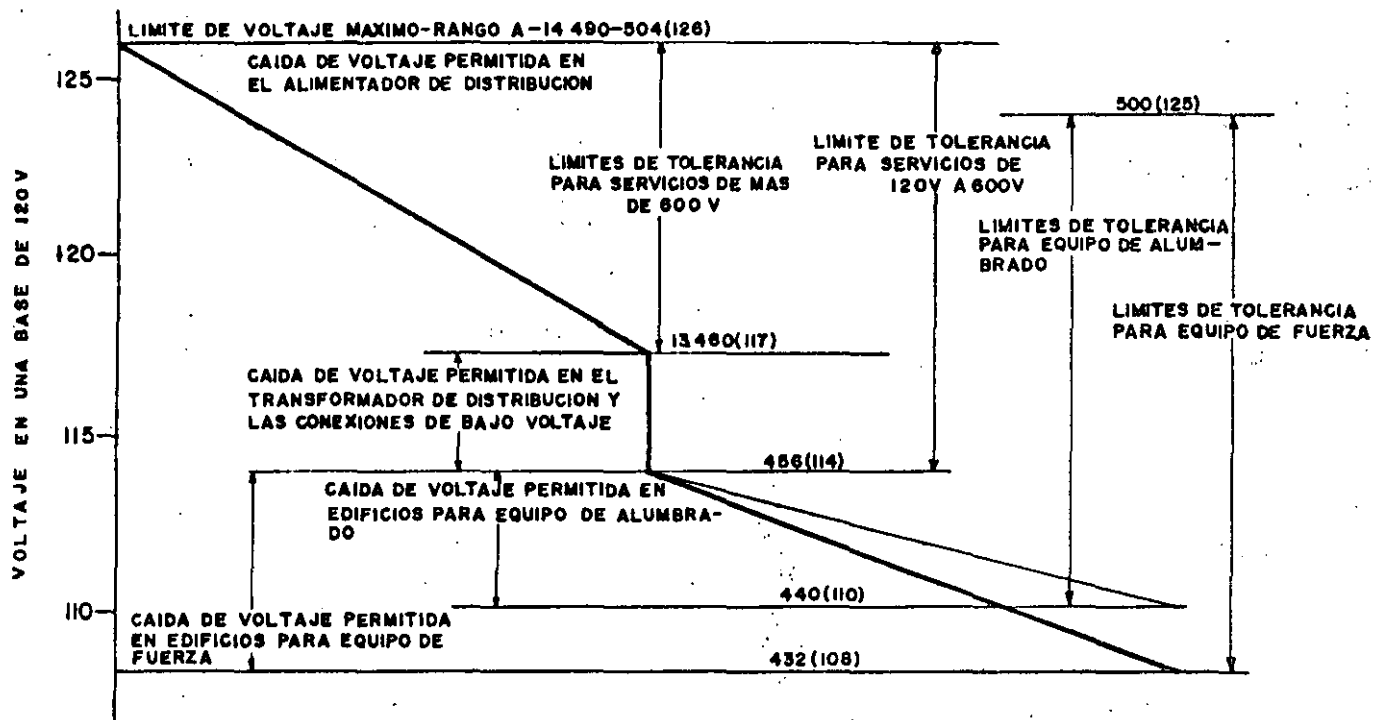
- EL SISTEMA ANTERIOR ES EL RANGO "B". EL RANGO "A" LIMITA DE 126 A 108V, SEGUN SE VE EN LA TABLA ANEXA. ESTE RANGO ES EL QUE SE TIENDE A USAR. PARA CARGAS DE ALUMBRADO LOS LIMITES INFERIORES ESTAN LIGERAMENTE MAS ARRIBA QUE EN LOS MOTORES, POR CONSIDERARSE QUE NO ADMITEN UN VOLTAJE INFERIOR.

PERFIL NORMALIZADO PARA UN SISTEMA REGULADO DE DISTRIBUCION  
DE POTENCIA, BASE 120 VOLTS.

MAXIMA TENSION PERMITIDA	RANGO A (VOLTS) 126 (125*)	RANGO B (VOLTS) 127
TOLERANCIA PARA LA CAIDA DE TENSION EN LINEA PRIMARIA DE DISTRIBUCION	9	13
MINIMA TENSION PRIMARIA DE SERVICIO.	117	114
TOLERANCIA PARA LA CAIDA DE TENSION EN EL TRANSFORMADOR	3	4
MINIMA TENSION SECUNDARIA DE SERVICIO	114	110
TOLERANCIA PARA EL ALAMBRADO SECUNDARIO	6(4+)	6(4+)
MINIMA TENSION DE UTILIZACION	108(110+)	104(106+)

\* PARA TENSION DE UTILIZACION DE 120 A 600 V

+ PARA CIRCUITOS DE ALUMBRADO



**PERFIL DE TENSIONES DE LOS LIMITES DE RANGO A, ANSI C84.1-1970**

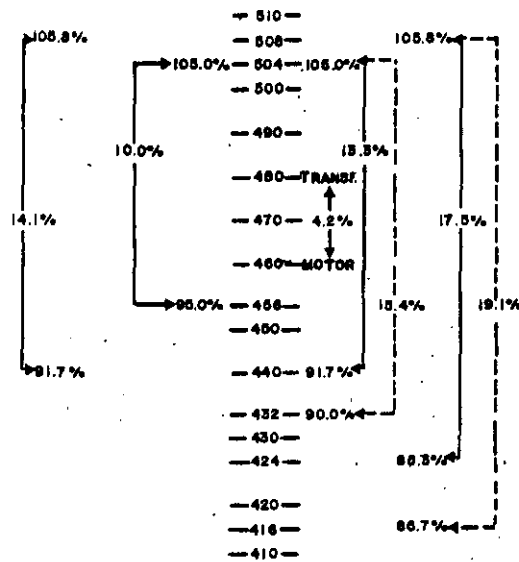
TENSIONES USADAS PARA ESTE EJEMPLO ;

MEDIA TENSION ——— 13800 V.

BAJA TENSION ——— 480 V.

SISTEMAS TRIFASICOS DE 480 V.

VOLTAJE EN EL PUNTO DE ENTRADA AL SERVICIO		VOLTAJE EN EL PUNTO DEL EQUIPO DE UTILIZACION	
RANGO B	RANGO A	VOLTAJE RANGO A	RANGO B



—— CIRCUITO DE ALUMBRADO O COMBINACION DE ALUMBRADO Y FUERZA  
 - - - - CIRCUITOS DE FUERZA.

RELACIONES DE VOLTAJES BASADAS EN RANGOS DE VOLTAJE EN ANSI C84.1-1970

USO DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES DEL TRANSFORMADOR

- NORMALMENTE ESTE ES DE 2 DERIVACIONES ARRIBA DE 2.5% Y DOS ABAJO DE 2.5% SU USO POR LO GENERAL ES CUANDO:
- + CUANDO EL "ANCHO DE BANDA" DEL SISTEMA PRIMARIO DE DISTRIBUCION ESTA ARRIBA O ABAJO DE LOS LIMITES REQUERIDOS PARA PROPORCIONAR UN ADECUADO "ANCHO DE BANDA" SECUNDARIO.

EJEMPLO: TRANSFORMADOR 13200-480 V CONECTADO A UN SISTEMA DE 13800V, SE TENDRIA UNA TENSION SECUNDARIA DE 502V. SI SE USA TAP DE +5% SE TENDRIA UNA TENSION DE 482 V MAS ADECUADA.

EJEMPLO: TRANSFORMADOR 13200-480 V CONECTADO A UN SISTEMA DE 13200 V, PERO LOCALIZADO CERCA DE LA SUBESTACION, POR LO QUE PODRIA VARIAR LA TENSION DE LA RED, ENTRE LOS SIGUIENTES VALORES:

13200 V A 13860 V(+5%) Y LA TENSION SECUNDARIA VARIARA POR LO TANTO DE:

480V A 504 V

SI SE USA EL TAP DE +2.5% SE TENDRAN:

468 V A 491 V (MAS ADECUADO).

- + PARA PROPORCIONAR "ANCHOS DE BANDA" ADECUADOS A LA TENSION NOMINAL DEL EQUIPO DE UTILIZACION.

EJEMPLO: SISTEMA DE 480 V. SI LOS MOTORES TIENEN UNA TENSION DE PLACA DE 460 V, USANDO EL TAP NORMAL LA TENSION \_\_\_\_\_ PODRÁ VARIAR: 440-500 V (DENTRO DE LIMITES)

PERO SI LOS MOTORES ESTAN A 440V, CONVIENE USAR EL TAP \_\_\_\_\_ +5% PARA QUE LA TENSION VARIE DE: 418 ----- 475 V

QUE ES "ANCHO DE BANDA" MAS ADECUADO PARA EL MOTOR DE 440V.

- CABE HACER NOTAR QUE LOS TAP DE UN TRANSFORMADOR NO DEBEN \_\_\_\_\_ USARSE PARA CORREGIR CAIDAS EXCESIVAS EN EL SISTEMA SECUNDARIO DE DISTRIBUCION (MAS DE 5%) NI UN VOLTAJE ABAJO DE LOS LIMITES FIJADOS PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO

## 2.3.- SELECCION DE TENSIONES

- ESTE ES UNO DE LOS ASPECTOS MAS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE FUERZA.
- LOS NIVELES DE TENSION PRIMARIOS SON DETERMINADOS POR LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA. ESTAS TENSIONES PUEDEN USARSE INTERNAMENTE EN LA PLANTA.
- DADO QUE LOS NIVELES DE TENSION EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION SE HAN ESTADO INCREMENTANDO, LOS EQUIPOS SE HAN VENIDO ADECUANDO A ELLO. ASI ES POSIBLE TENER DENTRO DE UN EDIFICIO INDUSTRIAL, LAS SIGUIENTES TENSIONES:

15 - 25 KV	SIN PROBLEMAS
25 - 35 KV	HACER ESTUDIO ECONOMICO PARA DECIDIR SU USO
35 KV HACIA ARRIBA	DEBE REDUCIRSE A UNA TENSION MENOR.

## FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCION DE LA TENSION

- 1.- TENSION NOMINAL DE LOS DISPOSITIVOS O APARATOS.
- 2.- TENSION PRIMARIA DISPONIBLE EN COMPAÑIA ELECTRICA. ESTE VOLTAJE NO SIEMPRE ES EL MAS ADECUADO, PARA CONECTAR CARGAS DIRECTAMENTE A EL, PERO PUEDE USARSE PARA ALIMENTAR A SUBESTACIONES DENTRO DE LA FABRICA.
- 3.- LA DISTANCIA A LA CUAL SE LLEVA LA ENERGIA. HACER ESTUDIOS TECNICO-ECONOMICOS.

- EN PLANTAS GRANDES ES COMUN TENER TRES O MAS NIVELES DE TENSION:
- + 480 V PARA UTILIZACION
- + 2.4 & 4.16 KV PARA MOTORES GRANDES O COMO TENSION DE DISTRIBUCION DE LA PLANTA.
- + 13.8 & 23 KV. COMO TENSION DE DISTRIBUCION DE LA PLANTA O COMO ALIMENTACION GENERAL DE LA COMPAÑIA ELECTRICA.

480 VS 220:

A MENUDO NOS HACEMOS LA PREGUNTA ¿ CUAL ES MAS ECONOMICO, 220/127 & 480/277? EN GENERAL 220/127 ES MAS ECONOMICO SI:

- + EL 70% DE LA CARGA ES A 127
- + LA CARGA NO EXCEDE 300 KVA (TIENDAS, TALLERES, FABRICAS PEQUEÑAS)

GUIA PARA SELECCIONAR LA TENSION EN TERMINOS DE LA MAGNITUD DE LA CARGA. ESTA GUIA ES SOLO REPRESENTATIVA Y PUEDE VARIAR CONSIDERABLEMENTE EN CASOS PARTICULARES.

VOLTS DEL SISTEMA

480  
 2400  
 4160  
 6900  
 4160 & 13800 (3)  
 13800

KVA. DEL SISTEMA

750 - 1500 KVA.  
 HASTA 3000 KVA (1)  
 DE 1500 A 10000 KVA  
 (2)  
 10000 a 20000 KVA  
 MAYORES DE 20000 KVA



(1) ES POCO USUAL QUE 2400 V. SE UTILICE COMO TENSION DE DISTRIBUCION PRINCIPAL, PERO PUEDEN EXISTIR MOTORES A ESTA TENSION.

(2) POCO USUAL

(3) HACER ESTUDIO COMPARATIVO CUALQUERA PUEDE FUNCIONAR.

- OTRA GUIA, BASADA EN LOS MOTORES PUEDE SER:

VOLTS DEL SISTEMA	VOLTAJE DEL MOTOR	HP DEL MOTOR
220		125 HP
480	460	HASTA 250 HP
2400	2300	200-1000 HP
4160	4000	300-4000 HP
13800	13200	5000 HP 6 MAS

#### 2.4.- EFFECTO DE LA VARIACION DE TENSION EN LOS EQUIPOS

MOTORES DE INDUCCION . VER TABLA ANEXA. EN GENERAL, LOS AFECTA MAS UNA TENSION LIGERAMENTE MENOR QUE UNA MAYOR.

MOTORES SINCRONOS. SE AFECTAN EN IGUAL FORMA QUE LOS DE INDUCCION EXCEPTO EN LA VELOCIDAD (QUE DEPENDE DE F) Y EN EL PAR DE ARRANQUE QUE VARIA DIRECTAMENTE CON LA TENSION.

LAMPARAS INCANDESCENTES. VER TABLA ANEXA. LOS EFECTOS SON CRITICOS.

LAMPARAS FLUORESCENTES. SE AFECTA MENOS QUE LAS INCANDESCENTES, PUEDEN OPERAR SATISFACTORIAMENTE EN UN RANGO DE  $\pm 10\%$ . APROXIMADAMENTE UNA VARIACION DE  $\pm 1\%$  AFECTARA EN IGUAL FORMA LA PRODUCCION LUMINOSA.

LAMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA. SI NO SE USAN BALASTRAS REGULADAS, Y SI LA TENSION VARIA EN 10%, LA LUZ VARIARA EN -30% SI SE USAN BALASTRAS DE POTENCIA CONSTANTE, CON UNA TENSION 10% MENOR, LA LUZ SERA 98%.

AL EXISTIR UN 20% DE BAJO VOLTAJE EL ARCO SE EXTINGUE SI ESTO SUCEDE FRECUENTEMENTE, SE DISMINUYE SENSIBLEMENTE LA VIDA DE LA LAMPARA.

PROCESOS DE CALOR CON LAMPARAS INFRAROJAS O RESISTENCIAS.

EN EL CASO DE LAS RESISTENCIAS SE VE AFECTADO EL PROCESO EN FUNCION DEL CUADRADO DE LA TENSION. EN EL CASO DE LAS LAMPARAS, COMO SU RESISTENCIA VARIA CON EL CALOR, SE AFECTA LIGERAMENTE MENOR AL CUADRADO DE LA TENSION.

CAPACITORES. LA POTENCIA REACTIVA VARIA CON  $V^2$ , UNA CAIDA DEL 10% REDUCE EN 19% LA POTENCIA REACTIVA LO QUE A SU VEZ REDUCE EN ESE POR CIENTO LOS BENEFICIOS.

DISPOSITIVOS OPERADOS POR SOLENOIDE. LA FUERZA DE ATRACCION VARIA CON  $V^2$ , PERO EN GENERAL ESTAN DISEÑADOS PARA OPERAR EN + 10% Y -15% DE V.

DESBALANCE EN LA TENSION ENTRE FASES. SUCEDE CUANDO EXISTEN CARGAS MONOFASICAS Y NO ESTAN BIEN DISTRIBUIDAS. SE EXPRESA:

DESBALANCEO DE LA TENSION ENTRE FASES =

DESVIACION MAXIMA RESPECTO AL VOLTAJE PROMEDIO

---

VOLTAJE PROMEDIO ENTRE FASES.

DADAS LAS CORRIENTES DE SECUENCIA NEGATIVA QUE CIRCULAN INTERNAMENTE EN EL MOTOR, ESTAS PRODUCEN UN CALENTAMIENTO COMO SE OBSERVA EN LA SIGUIENTE TABLA:

TIPO DE MOTOR	CARGA	% DE DESBALANCE EN TENSION	% DE CALENTAMIENTO EXTRA	CLASE DE AISLAMIENTO	ELEVACION DE TEMPERATURA (°C) OPERACION
MARCO "U"	NOMINAL	0	0	A	60
	NOMINAL	2	8	A	65
	NOMINAL	3 1/2	25	A	75
MARCO "T"	NOMINAL	0	0	B	80
	NOMINAL	2	8	B	86.4
	NOMINAL	3 1/2	25	B	100

EFFECTO GENERAL DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

(a) MOTORES DE ARMAZON U

CARACTERISTICAS	FUNCION DEL VOLTAJE	VARIACION DEL VOLTAJE	
		90% DEL VOLTAJE	110% DEL VOLTAJE
PARES DE ARRANQUE Y MAXIMO DE TRABAJO.	(VOLTAJE) <sup>2</sup>	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
VELOCIDAD SINCRONA	CONSTANTE	NO CAMBIA	NO CAMBIA
POR CIENTO DE DESLIZAMIENTO	(VOLTAJE) <sup>-2</sup>	AUMENTA 23%	DISMINUYE 17%
VELOCIDAD A PLENA CARGA	DESLIZAMIENTO DE LA VELOCIDAD SINCRONA	DISMINUYE 1.5%	AUMENTA 1%
EFICIENCIA A:			
PLENA CARGA	-----	DISMINUYE 2%	AUMENTA .5-1%
3/4 DE CARGA	-----	PRACTICAMENTE NO CAMBIA	PRACTICAMENTE NO CAMBIA
1/2 DE CARGA	-----	AUMENTA 1-2%	DISMINUYE 1-2%

CÁRACTERISTICAS

FUNCION DEL VOLTAJE

VARIACION DEL VOLTAJE  
90% DEL VOLTAJE 110% DEL VOLTAJE

FACTOR DE POTENCIA A:

PLENA CARGA

-----

AUMENTA 1%

DISMINUYE 3%

3/4 DE CARGA

-----

AUMENTA 2-3%

DISMINUYE 4%

1/2 DE CARGA

-----

AUMENTA 4-5%

DISMINUYE 5-6%

CORRIENTE A. PLENA CARGA

-----

AUMENTA 11%

DISMINUYE 7%

CORRIENTE DE ARRANQUE

VOLTAJE

DISMINUYE 10-12%

DISMINUYE 10-12%

ELEVACION DE TEMPERATURA A PLENA CARGA

-----

AUMENTA 6-7 °C

DISMINUYE 1-2 °C

CAPACIDAD DE SOBRECARGA MAXIMA

(VOLTAJE)<sup>2</sup>

DISMINUYE 19%

AUMENTA 21%

RUIDO MAGNETICO -SIN CARGA ESPECIFICA

-----

DISMINUYE LIGERA-  
MENTE

AUMENTA LIGERA-  
MENTE.

(b) MOTORES DE ARMAZON T

CARACTERISTICAS	FUNCION DEL VOLTAJE	VARIACION* DEL VOLTAJE	
		90% DEL VOLTAJE	110% DEL VOLTAJE
PARES DE ARRANQUE Y DE TRABAJO MAXIMO	(VOLTAJE) <sup>2</sup>	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
POR CIENTO DE DESLIZAMIENTO	(VOLTAJE) <sup>-2</sup>	AUMENTA 20-30%	DISMINUYE 15-20%
VELOCIDAD A PLENA CARGA	DESLIZAMIENTO DE VELOCIDAD SINCRONA	DISMINUYE LIGERAMENTE	DISMINUYE LIGERAMENTE
EFICIENCIA A:			
PLENA CARGA	-----	DISMINUYE 0-2%	DISMINUYE 0-3%
3/4 CARGA	-----	PRACTICAMENTE NO CAMBIA	NO CAMBIA O DECRESE LIGERAMENTE
1/2 CARGA	-----	AUMENTA 0-1%	DISMINUYE 0-5%
CORRIENTE A PLENA CARGA	-----	AUMENTA 5-10%	DISMINUYE LIGERAMENTE O AUMENTA HASTA 5%.

CARACTERISTICAS	FUNCION DEL VOLTAJE	VARIACION DEL *VOLTAJE	
		90% DEL VOLTAJE	110% DEL VOLTAJE
CORRIENTE DE ARRANQUE	VOLTAJE	DISMINUYE $\approx 10\%$	AUMENTA $\approx 10\%$
ELEVACION DE TEMPERATURA A PLENA CARGA	- - - -	AUMENTA 10-15%	AUMENTA 2-15%
CAPACIDAD DE SOBRECARGA MAXIMA	(VOLTAJE) <sup>2</sup>	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
RUIDO MAGNETICO-SIN CARGA ESPECIFICA	- - - -	DISMINUYE LIGERAMENTE	DISMINUYE LIGERAMENTE



TABLA 8

EFFECTOS DE VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAMPARAS INCANDESCENTES.

VOLTAJE APLICADO (VOLTS)	120 V		125 V		130 V	
	% DE VIDA	% DE EMISION LUMINICA	% DE VIDA	% DE EMISION LUMINICA	% DE VIDA	% DE EMISION LUMINICA
105	575	64	880	55	---	---
110	310	74	525	65	880	57
115	175	87	295	76	500	66
120	100	100	170	88	280	76
125	58	118	100	100	165	88
130	34	132	59	113	100	100

## 2.5.- CALCULOS DE CAIDA DE TENSION EN CONDUCTORES Y TRANSFORMADORES.

LA FORMULA GENERAL DE LA CAIDA DE TENSION DE ACUERDO A LA SIGUIENTE FIGURA ES:

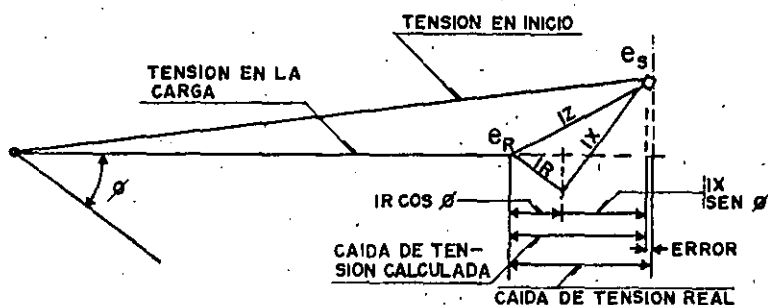


DIAGRAMA FASORIAL DE RELACION DE TENSION

$$V = IR \cos \phi + IX \sin \phi$$

EN, DONDE:

V = CAIDA DE TENSION, LINEA A NEUTRO

I = CORRIENTE

R = RESISTENCIA DEL CONDUCTOR, CORREGIDA A  $75^{\circ}C$ . (CARGA PROMEDIO) O  $90^{\circ}C$  (CARGA MAXIMA). DEPENDE SI SE USAN DUCTOS MAGNETICOS O NO MAGNETICOS.

X = REACTANCIA, DEPENDE DEL TAMAÑO DEL CONDUCTOR, SI ESTA EN DUCTOS MAGNETICOS O NO MAGNETICOS Y DE LA SEPARACION ENTRE CONDUCTORES.

$\phi$  = ANGULO ENTRE LA CORRIENTE Y LA TENSION DE LA CARGA ( AL NEUTRO)

### USO DE TABLAS Y CARTAS

LAS TABLAS Y CARTAS SON SUFICIENTEMENTE PRECISAS. EN LA TABLA DE CALCULO DE CAIDAS DE TENSION ANEXA, SE PRESENTAN CUATRO SECCIONES PARA EL CALCULO DE CAIDAS DE TENSION EN CONDUCTORES: PARA CONDUCTORES DE COBRE EN DUCTOS MAGNETICOS Y NO MAGNETICOS Y PARA CONDUCTORES DE ALUMINIO EN DUCTOS MAGNETICOS O NO. LOS VALORES ESTAN DADOS PARA LA CAIDA QUE SE PRODUCE EN LOS CONDUCTORES DE DIFERENTES CALIBRES CON 10000 AMPERS Y UN METRO DE LONGITUD.

EJEMPLO SEA UN CIRCUITO CON CONDUCTORES DE COBRE CALIBRE 500 MCM EN TUBERIA CONDUIT (MAGNETICA), LA LONGITUD DEL CIRCUITO ES DE 60 METROS Y LA CARGA DE 800 AMPERS A UN FACTOR DE POTENCIA DE 80%. ¿ CUAL ES LA CAIDA DE TENSION AL NEUTRO?

SE CALCULAN LOS AMPERS-METRO DEL CIRCUITO:

$$300 \text{ A} \times 60\text{m} = 18,000 \text{ A-M}$$

DE ACUERDO A LA TABLA, LA CAIDA DE TENSION PARA 10000 A-M, UN CALIBRE DE 500 MCM, FACTOR DE POTENCIA DE 0.8 Y DUCTO MAGNETICO ES: 2.79 VOLTS, POR LO QUE PARA

18000 A-M SE TIENE.

$$\frac{18,000}{10,000} \times 2.79 = 5 \text{ VOLTS (ENTRE FASES)}$$

Y AL NEUTRO

$$V = 5/1.732 = \underline{2.89 \text{ VOLTS.}}$$

### CAIDA DE TENSION EN TRANSFORMADORES

SE USA LAS TABLAS ANEXAS Y SIRVEN PARA TRANSFORMADORES DE TENSIONES PRIMARIAS DE 5 a 25 KV Y DE 34.5 KV, DE LOS TIPOS ACEITE Y SECO, TRIFASICOS O MONOFASICOS. PARA EL CASO DE UN TRANSFORMADOR MONOFASICO, MULTIPLIQUE LOS KVA POR 3 Y ENTRE A LA TABLA.

EJEMPLO. SEA UN TRANSFORMADOR TRIFASICO DE RELACION 4160/480V, 2000 KVA DE CAPACIDAD. LA CARGA ES DE 1500 KVA A 0.85 DE F.P.

### SOLUCION

ENTRE A LA CARTA (PARA TRANSFORMADORES DE 5 A 25 KV) CON EL VALOR DE 2000 KVA. SUBA A INTERSECTAR LA CURVA DE 0.85 F.P. Y BUSQUE EL % DE CAIDA EN EL EJE VERTICAL DE LA CARTA ESTE ES:

$$\begin{aligned} \text{PORCIENTO DE CAIDA} \\ \text{A PLENA CARGA} &= 3.67 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PORCIENTO DE CAIDA} &= 3.67 \times \frac{1500}{2000} \\ \text{A 1500 KVA} &= 2.75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CAIDA DE TENSION REAL} &= 0.0275 \times 480 \\ &= 13.2 \text{ VOLTS} \end{aligned}$$

CAIDA DE TENSION DE LINEA A LINEA EN SISTEMA TRIFASICO POR 10000 A·M  
CON UNA TEMPERATURA DE 60°C EN EL CONDUCTOR Y A UNA FRECUENCIA DE 60 Hz.

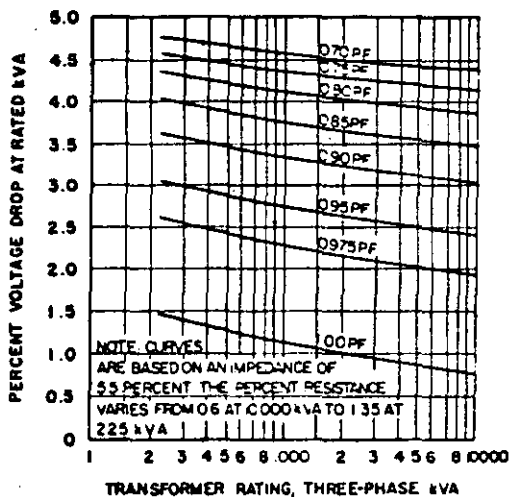
FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA (ATRASADO)	CALIBRE DEL CONDUCTOR (AWG ó Kcmil)																							
	1000	900	800	750	700	600	500	400	350	300	250	4/0	3/0	2/0	1/0	1	2	4	6	8*	10*	12*	14*	
<b>Sección 1: Conductores de Cobre en Conduit Magnético.</b>																								
1.00	0.92	1.01	1.11	1.15	1.21	1.38	1.64	1.97	2.23	2.56	3.02	3.61	4.60	5.59	6.90	8.55	11.18	17.43	27.63	42.77	69.09	108.57	174.37	
0.95	1.64	1.71	1.80	1.87	1.94	2.10	2.33	2.66	2.89	3.29	3.61	4.27	4.93	6.25	7.56	9.21	11.51	17.43	26.97	42.77	65.8	105.28	164.5	
0.90	1.87	1.94	2.03	2.10	2.17	2.33	2.56	2.89	3.12	3.61	3.94	4.27	5.26	6.25	7.56	9.21	11.18	17.10	26.32	39.48	62.51	98.7	157.92	
0.80	2.17	2.23	2.33	2.40	2.43	2.63	2.79	3.12	3.29	3.61	3.94	4.60	5.26	6.25	7.56	8.55	10.52	15.79	24.01	36.19	55.93	88.83	141.47	
0.70	2.33	2.40	2.50	2.56	2.63	2.73	2.89	3.19	3.29	3.61	3.94	4.27	4.93	5.92	6.90	8.22	9.87	14.47	21.71	32.57	49.35	78.96	125.02	
<b>Sección 2: Conductores de Cobre en Conduit no Magnético.</b>																								
1.00	0.75	0.85	0.92	0.95	1.08	1.25	1.48	1.80	2.03	2.40	2.89	3.29	4.27	5.26	6.90	8.55	10.85	17.43	27.63	42.77	69.09	108.57	174.37	
0.95	1.31	1.41	1.48	1.54	1.64	1.77	2.03	2.33	2.63	3.02	3.29	3.61	4.93	5.92	7.23	8.88	11.18	17.43	26.47	42.77	65.80	105.28	164.50	
0.90	1.54	1.57	1.71	1.77	1.80	1.94	2.23	2.50	2.79	3.12	3.61	3.61	4.93	5.92	7.23	8.88	10.85	16.77	25.99	39.48	62.51	98.70	157.92	
0.80	1.77	1.80	1.87	1.94	2.03	2.17	2.40	2.66	2.89	3.19	3.61	3.61	4.80	5.59	6.90	8.22	10.19	15.46	23.68	36.19	55.93	88.83	141.47	
0.70	1.87	1.94	2.03	2.10	2.17	2.43	2.73	2.89	3.19	3.61	3.61	4.60	5.26	6.56	7.89	9.21	14.14	21.05	31.91	49.35	78.96	125.02		
<b>Sección 3: Conductores de Aluminio en Conduit Magnético.</b>																								
1.00	1.38	1.48	1.61	1.71	1.80	2.07	2.43	2.99	3.29	3.94	4.60	5.59	6.90	8.55	10.85	13.81	17.10	27.63	42.77	69.09	108.57	171.08	---	
0.95	2.02	2.13	2.30	2.40	2.50	2.73	3.09	3.61	3.94	4.60	5.26	5.92	7.56	8.88	11.18	13.81	17.43	26.97	42.77	65.80	105.28	164.50	---	
0.90	2.27	2.36	2.50	2.59	2.69	2.89	3.25	3.94	4.27	4.60	5.26	6.25	7.56	8.88	11.18	13.48	16.77	25.99	39.48	62.51	98.70	157.92	---	
0.80	2.50	2.63	2.73	2.79	2.89	3.12	3.29	3.94	4.27	4.60	5.26	5.92	7.23	8.55	10.52	12.83	15.46	24.01	36.19	55.93	88.87	141.47	---	
0.70	2.63	2.73	2.86	2.92	3.02	3.22	3.61	3.94	4.27	4.60	5.26	5.59	6.90	7.89	9.54	11.84	14.14	21.38	32.90	49.35	78.96	121.73	---	
<b>Sección 4: Conductores de Aluminio en Conduit no Magnético.</b>																								
1.00	1.18	1.28	1.44	1.54	1.67	1.94	2.30	2.89	3.29	3.94	4.60	5.59	6.90	8.55	10.85	13.81	17.10	27.63	42.77	69.09	108.57	171.08	---	
0.95	1.71	1.84	1.97	2.07	2.20	2.43	2.79	3.29	3.61	4.27	4.93	5.92	7.23	8.88	11.18	13.81	17.10	26.97	42.77	65.80	105.28	164.50	---	
0.90	1.87	2.00	2.13	2.23	2.33	2.59	2.92	3.61	3.94	4.27	4.93	5.92	7.23	8.55	10.85	13.48	16.45	25.99	39.48	62.51	98.70	157.92	---	
0.80	2.07	2.17	2.33	2.40	2.50	2.73	3.02	3.61	3.94	4.27	4.93	5.59	6.90	8.22	10.19	12.50	15.13	23.68	36.19	55.93	88.87	136.18	---	
0.70	2.17	2.27	2.40	2.46	2.56	2.73	3.02	3.61	3.61	4.27	4.60	5.26	5.59	7.56	9.21	11.18	13.81	21.05	32.57	49.35	78.96	121.73	---	

† Conductor Sólido.

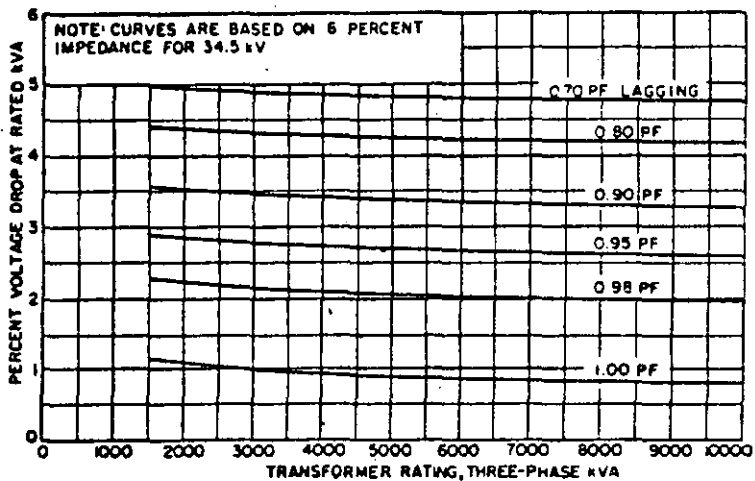
PARA CONVERTIR LA CAIDA DE TENSION A	MULTIPLIQUE POR
UNA FASE, TRES HILOS, LINEA A LINEA	1.18
UNA FASE, TRES HILOS, LINEA A NEUTRO	0.577
TRES FASES, LINEA A NEUTRO	0.577

TABLA 2-12





**Fig 13**  
**Approximate Voltage Drop Curves for Three-Phase Transformers, 225-10 000 kVA, 5-25 kV**



**Fig 14**  
**Approximate Voltage Drop Curves for Three-Phase Transformers, 1500-10 000 kVA, 34.5 kV**

EFFECTOS DEL ARRANQUE DE MOTORES EN LOS SISTEMAS DE DISTRI-  
BUCION ELECTRICA

LA CORRIENTE DE ARRANQUE DE LOS MOTORES ESTAN DADAS DE ACUERDO A LAS LETRAS DE CODIGO EN EL ARTICULO 430 DEL "NATIONAL ELECTRICAL CODE", ESTA ES POR LO GENERAL DE 5 A 7 VECES LA CORRIENTE NOMINAL.

ESTA CORRIENTE ELEVARA LA CAIDA DE TENSION EN LOS CONDUCTORES Y EN LOS TRANSFORMADORES, CAUSANDO PERTURBACIONES A OTROS EQUIPOS, ESPECIALMENTE AL ALUMBRADO.

LA CAIDA DE TENSION MAS IMPORTANTE DEL SISTEMA SE DA EN LOS TRANSFORMADORES Y UNA FORMA DE CALCULARLA ES USANDO LA GRAFICA ANEXA.

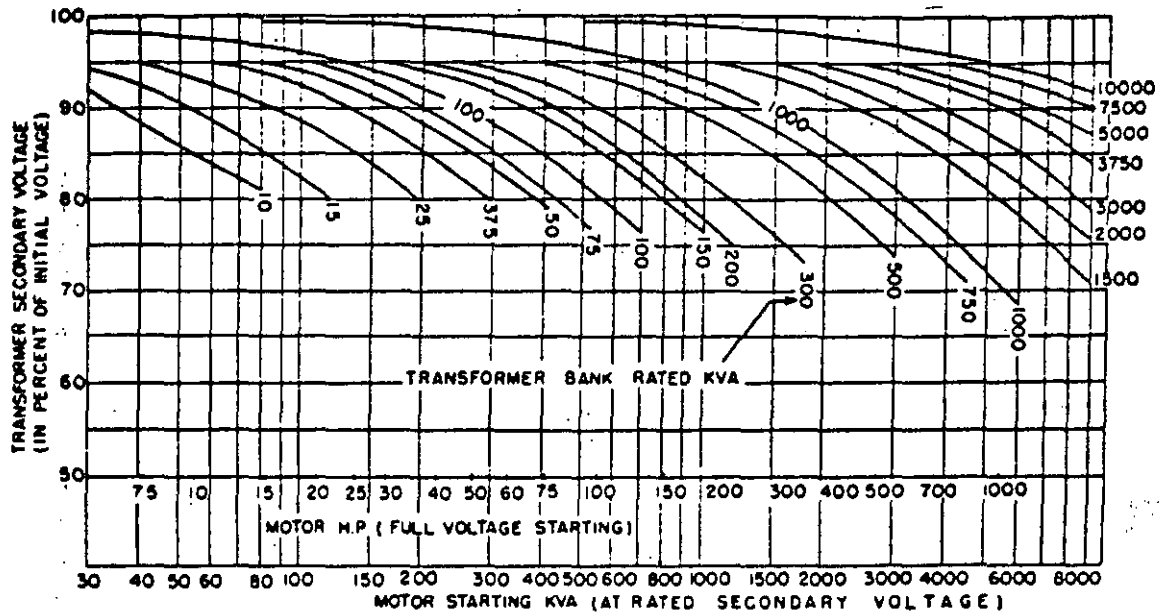
SI SE DESEAN CALCULOS MAS EXACTOS, HABRIA QUE CONSIDERAR LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR Y LA DE LOS CABLES; DE AHI SE DETERMINARA SI ES PROBLEMATICA O NO PARA EL SISTEMA.



LA SECUENCIA DE ARRANQUE DE VARIOS MOTORES ES IMPORTANTE. SI SE DESEA REDUCIR LA CORRIENTE DE ARRANQUE, EXISTEN VARIOS METODOS, CUYOS RESULTADOS SE RESUMEN A CONTINUACION.

## COMPARACION ENTRE METODOS DE ARRANQUE

TIPO DE ARRAN- CADOR	TENSION EN EL- MOTOR (% V DE LINEA)	PAR DE ARRANQUE (% DE PAR A TEN- SION PLENA)	CORRIENTE DE LI- NEA (% DE CO- RRIENTE A TEN- SION PLENA)
TENSION PLENA	100	100	100
AUTO TRANSFORMA- DOR			
TAP A 80%	80	64	68
TAP A 65%	65	42	46
TAP A 50%	50	25	30
TIPO RESISTENCIA AJUSTADO A 80%	80	64	80
REACTOR			
50%	50	25	50
45%	45	20	45
37.5%	37.5	14	37.5



**NOTES**

SCALE OF MOTOR HP BASED ON STARTING CURRENT BEING EQUAL TO APPROXIMATELY 5.5 TIMES NORMAL

2. SHORT-CIRCUIT KVA OF PRIMARY SUPPLY IS ASSUMED TO BE AS FOLLOWS:

BANK KVA	PRIMARY SHORT-CIRCUIT KVA
10-300	25,000
500-1000	50,000
1500-3000	100,000
3760-10000	250,000

3. TRANSFORMER IMPEDANCES ARE ASSUMED TO BE AS FOLLOWS

BANK KVA	BANK IMPEDANCE
10-50	3%
75-150	4%
200-500	5%
750-2000	5.5%
3000-10000	6.0%

4. REPRESENTATIVE VALUES OF PRIMARY SYSTEM VOLTAGE DROP AS A FRACTION OF TOTAL DROP ARE AS FOLLOWS, FOR THE ASSUMED CONDITIONS

BANK KVA	SYSTEM DROP/TOTAL DROP
100	0.09
1000	.25
10000	.44

**Figure 2.21**  
Voltage drop in a transformer due to starting a motor  
(for estimating purposes only)

EJEMPLO SIMPLIFICADO DEL CALCULO DE PERFIL DE  
TENSIONES EN UNA PEQUEÑA INDUSTRIA.

---

En la figura anexa se muestra un ejemplo de cual ---  
podría ser un perfil de tensiones para una planta en  
la zona centro del país.

Los tres puntos a considerar son:

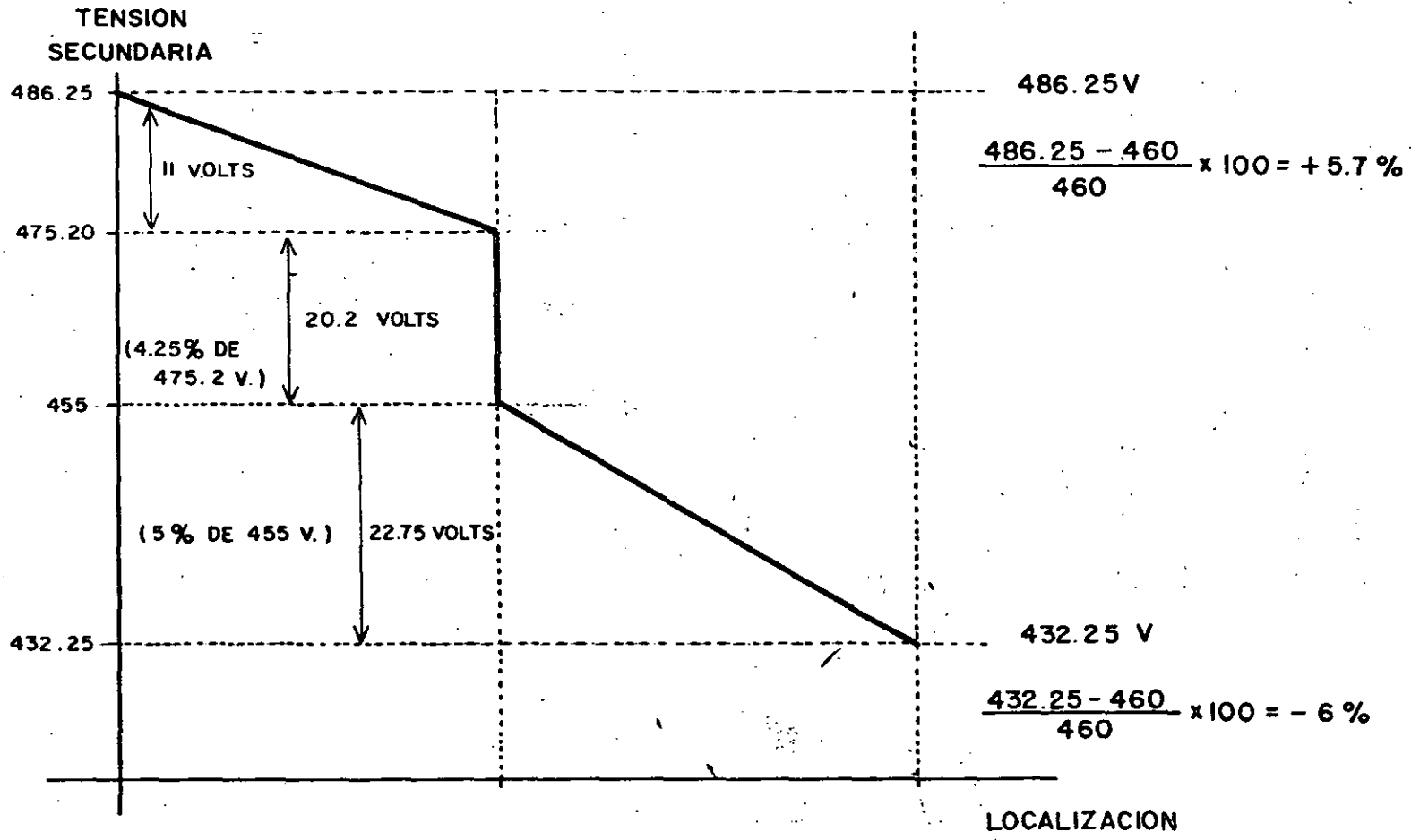
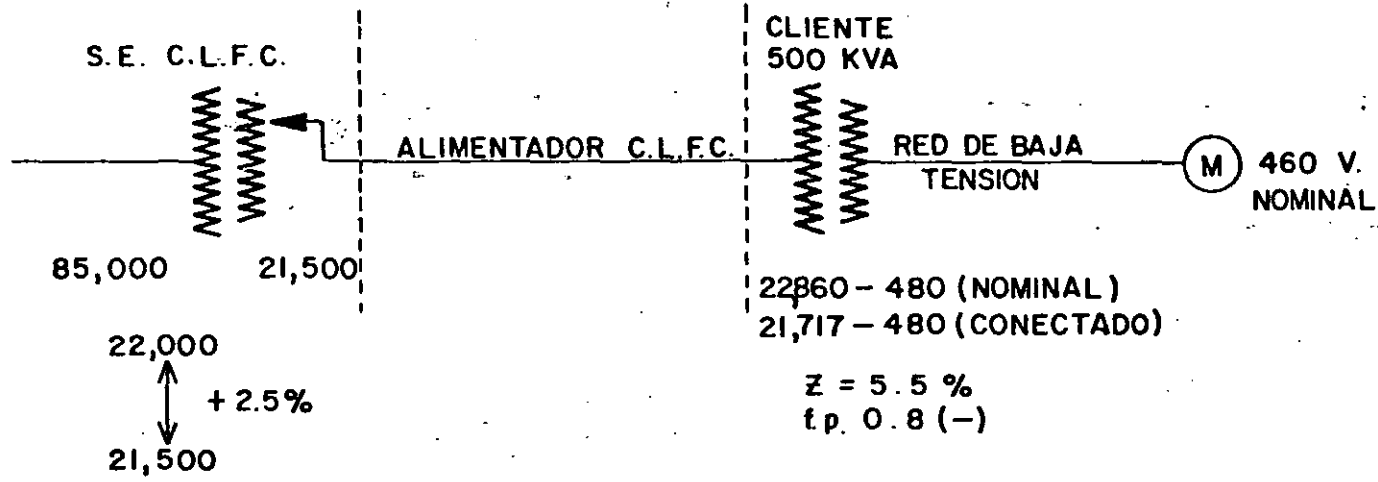
- a) La S. E. reductora de 85 - 23 KV. de la Compañía -  
Suministradora y su red de distribución en 23 KV.
- b) El transformador de distribución del cliente indus  
trial.
- c) La red de distribución en baja tensión dentro de -  
la Fábrica.

a).- Compañía Suministradora.

Para compensar la caída de tensión en la línea de  
distribución de media tensión (alimentador) ,  
la CLFC en sus subestaciones eleva la tensión de  
21,500 a 22,037 Volts, en la hora de mayor carga  
haciendose ésto de manera automática .

Por el propio desarrollo que ha tenido la red de  
distribución en media tensión en la CLFC, se tra  
baja en el 80% de las subestaciones con una ten  
sión nominal de 21,500 volts, elevándose ésta -  
hasta un 2.5% arriba para compensar la caída de  
la línea.

TEMA: "CONSIDERACIONES, SOBRE LA TENSION EN EL SISTEMA"  
 PERFIL DE CAIDA DE TENSION PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL.



En las horas de poca carga, esta tensión baja -- en forma automática al valor de 21,500 o ligeramente arriba de él.

b).- Transformador de Media - Baja tensión.

Se pone como ejemplo un transformador de las siguientes características:

Transformador Trifásico, con conexión delta-estrella, capacidad 500 KVA, tensión nominal de ---- 22860-480/277 V, con cambiador de derivaciones en 4 pasos de 2.5% cada uno, dos arriba y dos -- abajo; impedancia 5.5%.

Dada la tensión nominal de la red de 21,500 --- volta conviene operar el transformador con el -- cambiador de derivaciones dos pasos abajo, o sea -5%, por lo que la relación de transformación -- queda:

$$n = \frac{22\ 860 \times 0.95}{480} = \frac{21,717}{480} = 45.244$$

La caída de tensión en el transformador la calculamos a partir de la gráfica de la página II-28.

Se supone que el transformador está trabajando a plena carga con el factor de potencia de (-) 0.8

El porcentaje de caída de tensión es de 4.25% .

c).- Red en baja tensión.

De acuerdo con las Normas Técnicas del Reglamento de Instalaciones Eléctricas, el calculo de la caída de tensión puede hacerse hasta el 5%.

El perfil de tensión de la figura se hace referido al valor en baja tensión que se tendría en el punto de suministro: El motor.

La variación en la línea de 21,500 a 22,000 se refleja en baja tensión:

$$\frac{22\,000}{n} = \frac{22,000}{45.244} = 486.20 \text{ (volts)}$$

$$\frac{21,500}{n} = \frac{21,500}{45,244} = 475.20 \text{ (volts)}$$

La caída de tensión en el transformador de 500 - KVA, se aplica a la tensión de 475.20 volts:

$$e_t = (0.0425) \times (475.20) = 20.2 \text{ (volts)}$$

Por lo tanto, la tensión en el secundario del transformador será:

$$V_{st} = 475.20 - 20.2 = 455 \text{ (volts)}$$

Al valor anterior se le aplica el 5% de la caída de tensión en la red de baja tensión:

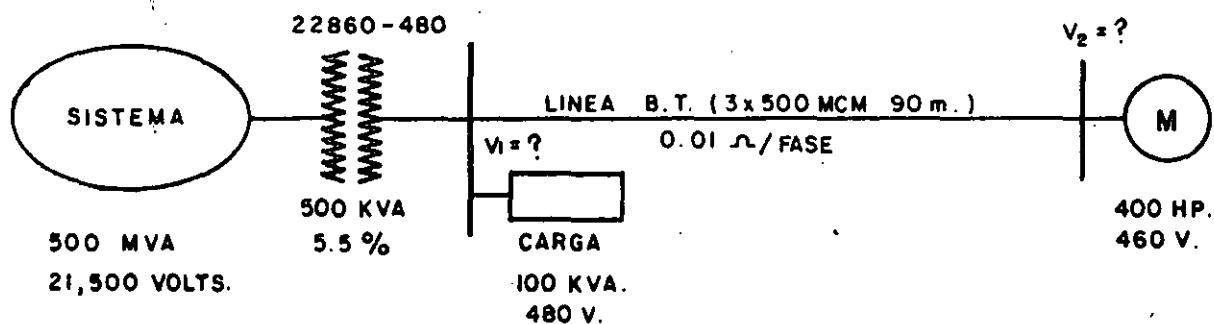
$$e_{bt} = (455) (0.05) = 22.75 \text{ volts.}$$

La tensión mas baja que podría haber en el motor será:

$$V_m = 455 - 22.75 = 432.25 \text{ (volts)}$$

que es un 6% abajo de la tensión nominal de 460 volts, lo cual es aceptable.

EJEMPLO DE CALCULO DE CAIDA DE TENSION EN UN  
SISTEMA DE ARRANQUE DE MOTORES.



Se pregunta ¿ Cual será la tensión  $V_1$  en la carga --  
 adyacente al transformador de 500 KVA durante el --  
 arranque del motor de 400 H P ? .

¿ Cual será la tensión  $V_2$  en el propio motor durante  
 su arranque ? .

SOLUCION

Se tratará el problema en forma muy parecida a un es-  
 tudio de corto circuito. Se usará el método de " por  
 unidad" para reducir las impedancias del sistema a -  
 una sola base.

DATOS BASE

POTENCIA BASE : 500 KVA

TENSION BASE: 0.48 KV

CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS.

Por simplificación del ejemplo, los valores de impedancia que se consideran están dados en VALOR ABSOLUTO. Así se pueden sumar arítmicamente haciendo caso omiso del ángulo. En un caso real se recomienda tomar en cuenta los valores vectoriales para mayor exactitud.

Sistema

Transformador ;  $Z_{\text{sis t}} = \frac{500}{500\ 000} = 0.001 \text{ p.u.}$

$$Z_t = 0.055$$

Carga adyacente al transformador

$$I = \frac{100}{\sqrt{3} \times 0.48} = 120 \text{ amps}$$

$$Z_c = \frac{V}{I} = \frac{480}{120} = 2.3 \text{ (ohms)}$$



Motor de 400 H.P. al arranque:

Se considera que 1 H.P  $\doteq$  1 KVA y una corriente de --  
 arranque de 6 veces la nominal. La tensión nominal del  
 motor es de 460 volts.

$$I_{\text{NOM}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 0.46}$$

$$Z_{\text{MA}} = \frac{V_{\text{p-n}}}{I_{\text{nom}} \times 6} = \frac{460 / \sqrt{3}}{\frac{400}{\sqrt{3} \times 0.46} \times 6}$$

$$Z_{\text{MA}} = 0.088 \text{ (ohms)}$$

$$Z_{\text{MA}} (\%/1) = \frac{0.088 \times 500}{(0.46)^2 \times 1000}$$

$Z_{\text{MA}} (\%/1) = 0.191$
--------------------------------

En por unidad .

$$Z \text{ (}\circ/1\text{)} = \frac{Z_{\text{ohms}} \times \text{KVA}_B}{(\text{KV}_B)^2 \times 1000}$$

$$Z_c \text{ (}\circ/1\text{)} = \frac{2.3 \times 500}{(0.48)^2 \times 1000} = 5 \text{ (}\circ/1\text{)}$$

$$Z_c \text{ (}\circ/1\text{)} = 5$$

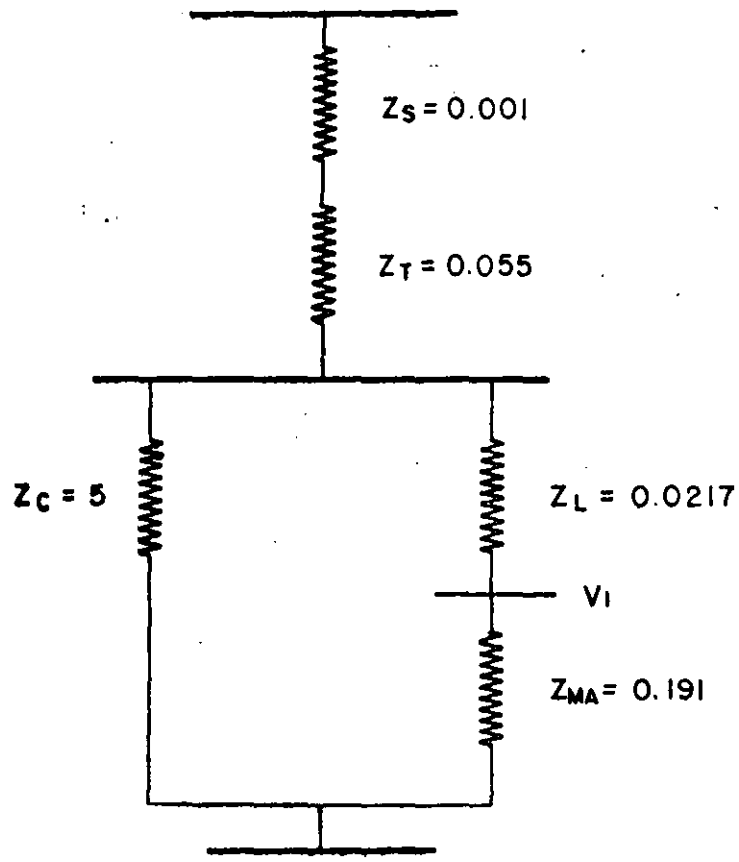
Línea en baja tensión .

$$Z_L = 0.01 \text{ (ohms)}$$

$$Z_L \text{ (}\circ/1\text{)} = \frac{0.01 \times 500}{(0.48)^2 \times 1000} = 0.0217 \text{ p.u.}$$

$$Z_L \text{ (}\circ/1\text{)} = 0.0217$$

El diagrama de impedancias resultante:



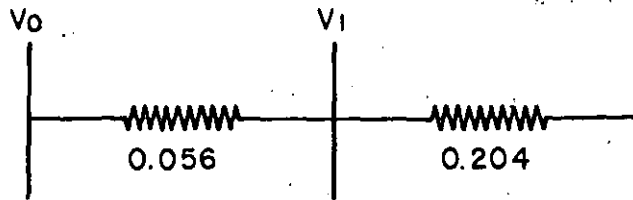
Reduciendo el diagrama:

$$Z_s + Z_T = 0.001 + 0.055 = 0.056$$

$$Z_L + Z_{MA} = 0.0217 + 0.191 = 0.2127$$

$$Z_c \parallel (Z_L + Z_{MA}) = \frac{5 \times 0.2127}{5 + 0.2127} = 0.204$$

El diagrama queda reducido:



$$Z_{TOT} = \boxed{0.26} \text{ (p.u.)}$$

$$I_{TOT} = \frac{1}{Z_{TOT}} = \boxed{3.846} \text{ (p.u.)}$$

La tensión  $V_1$  :

$$V_1 = V_o - I_T (Z_S + Z_T)$$

$$V_1 = 1.0 - 3.846 (0.056)$$

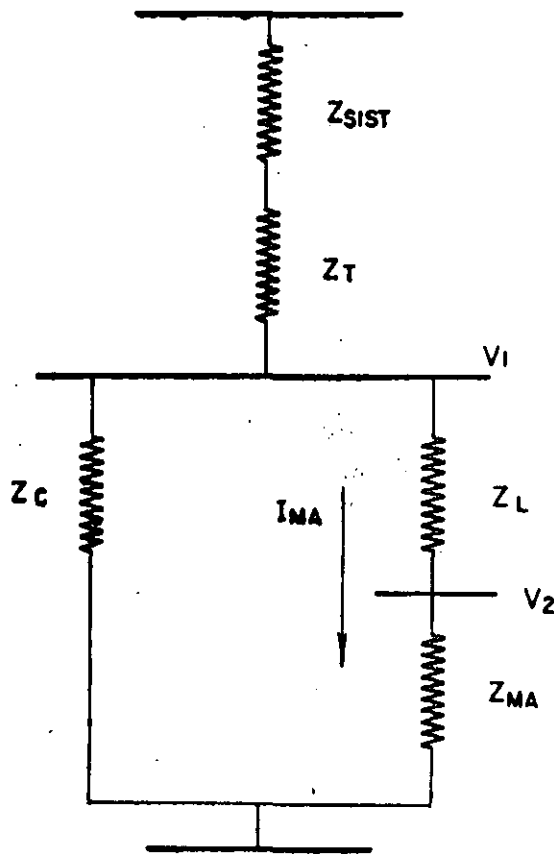
$$\boxed{V_1 = 0.785} \text{ p.u.}$$

$$V_1 = (0.785) V_B = (0.785) (480)$$

$$\boxed{V_1 = 376.8} \text{ volts}$$

Cálculo de la tensión  $V_2$  :

Primero se calcula el valor real de la corriente de --  
arranque del motor, considerando que al mismo arranque,  
la tensión en  $V_1$  es 0.785 p.u. (376.8 volts ).



$$I_{MA} = \frac{V_1}{Z_L + Z_{MA}} = \frac{0.785}{0.0217 + 0.191}$$

$$I_{MA} = \frac{0.785}{0.2127} = \boxed{3.69} \text{ (°/1)}$$

La tensión  $V_2$  :

$$V_2 = V_1 - Z_L I_{MA} = 0.785 - (0.0217) (3.69)$$

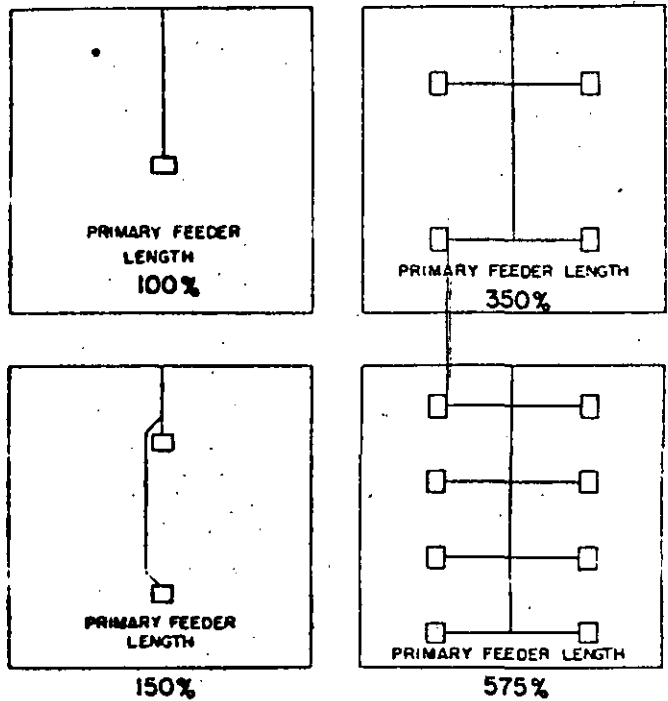
$$\boxed{V_2 = 0.7049} \text{ p.u.}$$

$$V_2 = 0.7049 \times 480 = \boxed{338} \text{ volts}$$

Con relación a la tensión nominal de 460 volts, el decaimiento es del orden:

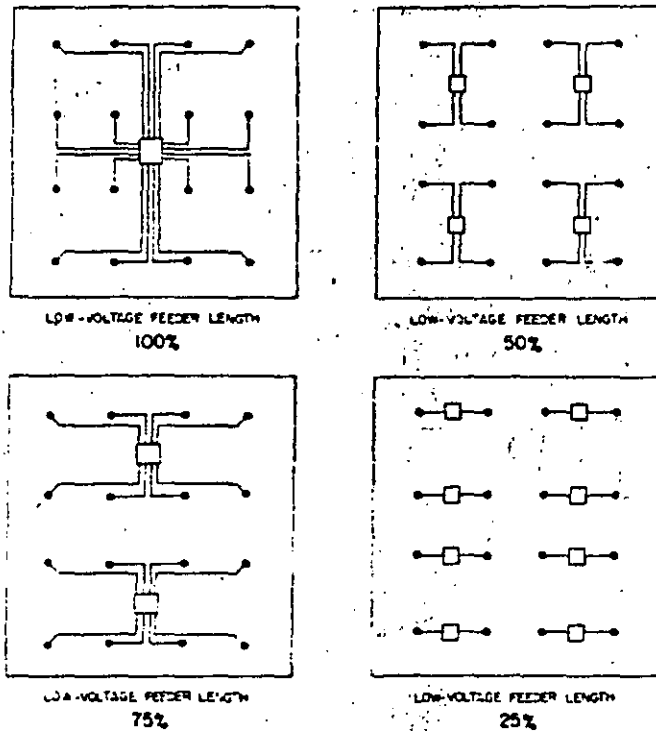
$$\% e = \frac{460 - 338}{460} \times 100$$

$$\boxed{\% e = 26 \%} \quad (\text{caída de tensión})$$



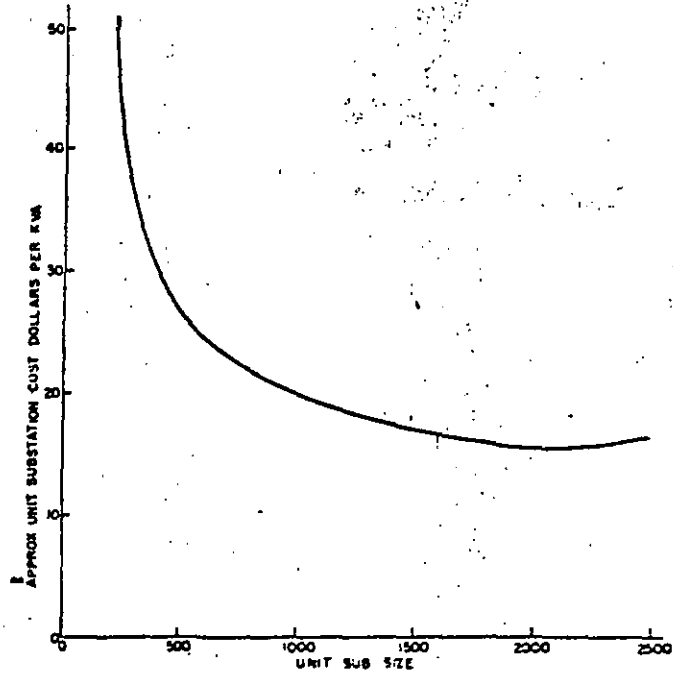
(Photo A112915)

**Fig. 1. One-line diagram showing how primary feeder cable length increases as number of substations in an area increases**  
 ★Changed since Jan. 2, 1951 issue.



(Photo A112920)

Fig. 2. One-line diagram showing how the amount of secondary feeder cable decreases as number of substations in an area increases



UNIT SUBSTATIONS WITH NECESSARY FEEDER BREAKERS TO LIMIT TO 400 AMPERES PER FEEDER MAX 480 VOLTS SECONDARY (3.8 KV PRIMARY)  
 \*(Photo A112921)

Fig. 3. Typical pattern of load center unit substation costs vs kva rating



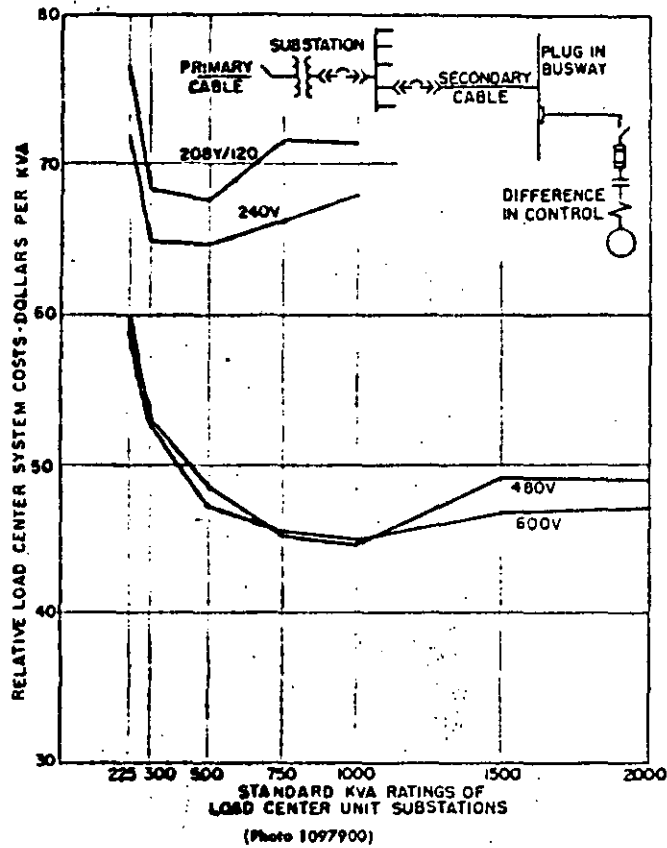


Fig. 2. Chart showing the approximate comparative costs of 208Y/120-, 240-, 480-, and 600-volt radial load center systems

FOR UTILIZATION VOLTAGE  
CHOOSE 480 VOLTS

(9)

WHILE 600 VOLT SYSTEMS ARE LESS EXPENSIVE  
550 VOLT, MOTORS, CONTROL, ETC. NOT  
AS READILY AVAILABLE AS 440 VOLT EQUIPMENT

480 VS. 240

	240V	480V
AVAILABILITY OF EQUIPMENT	SAME	
COST	135%	100%
LOSES	HIGHEST	LOWEST
VOLTAGE DROP	HIGHEST	LOWEST
SAFETY	NO PROVEN DIFFERENCE BOTH SHOULD BE WORKED ON ONLY WHEN DEENERGIZED	

(Photo 1097877)

Fig. 1. Chart showing the comparative factors in the choice of utilization voltage in the 600 volt class

## VOLTAGE CONSIDERATIONS

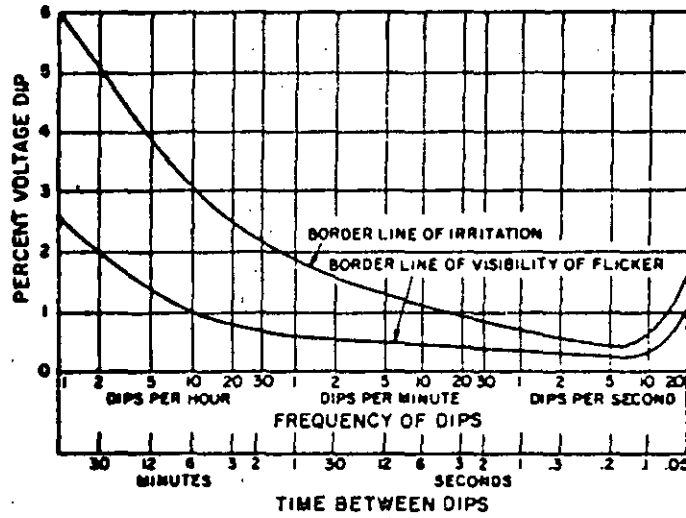


Fig 11  
Effect of Recurrent Voltage Dips on Incandescent Lamps

TEMA: "CONSIDERACIONES SOBRE LA TENSION EN EL SISTEMA"

Sept/1991

RESUMEN DE NIVELES CRITICOS DE TENSION EN EL SISTEMA CUANDO SE ARRANCAN MOTORES

Localización de la caída de Tensión	Voltaje mínimo aceptable.
Terminales del motor	80%
Otros motores por recalentar	71%
Contactores (cierre de bobina)	85%
Contactores (rotación de bobina)	80%
Controles Estáticos	90%
Cambios notados en el alumbrado	3% de variación de voltaje



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 6: INSTALACIONES ELECTRICAS EN AREAS RIESGOSAS

MAYO, 1985

Actualmente las industrias de manufacturas y procesos están utilizando mas y mas materiales potencialmente explosivos e inflamables que anteriormente. El uso de equipo eléctrico en estas industrias continúa incrementándose. Es imperativo que el equipo eléctrico seleccionado sea adecuado y apropiadamente instalado y mantenido, para proteger al personal y las instalaciones de la planta. En este documento se revisarán los conceptos básicos de equipo para áreas peligrosas. Cubre los aspectos de seguridad en el diseño, selección, instalación y mantenimiento del equipo eléctrico adecuado para usarse en áreas peligrosas. Los principales cambios en el Código Nacional Eléctrico (NEC) Edición 1978, relacionados al equipo para instalaciones en estas áreas están también detallados.

## ASPECTOS GENERALES

El Código Nacional Eléctrico (NEC) es comunmente aceptado como guía para la práctica de seguridad en la selección instalación adecuada de equipo eléctrico. Las áreas peligrosas (clasificadas) están cubiertas en el Capítulo 5, Artículos 500, 501, 502, 503, 510, 511, 514 y 515.

Areas peligrosas son aquellas que contienen vapores, líquidos o gases inflamables o polvos combustibles y fibras, que pueden causar fuegos o explosiones si se someten a una fuente de ignición. Las áreas están clasificadas con base en sus características de peligrosidad.

En el NEC los gases inflamables están clasificados como Clase I. Ya que los diferentes gases tienen una temperatura de ignición y características de explosión diferentes, están subdivididos en 2 grupos. La Tabla 500-2 enlista los gases clasificados. Estos gases están clasificados en los Grupos A, B, C y D, en los cuales el D es de menor clasificación que el C, etc. En la edición 1978 del NEC distintos gases fueron agregados como resultado de un estudio conjunto de varias organizaciones interesadas. Estos gases están indicados en la tabla por la linea vertical. (Ver página 2)

Para completar la descripción del área, el NEC reconoce 2 Divisiones distintas (Div. 1 y 2). Area Clase I División 1, es (1) aquella en la cual la concentración peligrosa de gases o vapores inflamables existen continua, intermitente o periódicamente en el ambiente bajo condiciones normales de operación; o también (2), área en la cual la concentración peligrosa de algunos gases o vapores puede existir frecuentemente por reparaciones de mantenimiento o por fugas. Puede ser también (3) aquella área en la cual por falla del equipo de operación o proceso podrían fugarse gases o vapores inflamables hasta alcanzar concentraciones peligrosas y podría también causar simultáneamente fallas del equipo eléctrico.

Esta clasificación incluye generalmente sitios donde líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables son transportados de un recipiente a otro; el interior de casetas de pintura por aspersión y zonas aledañas a estas casetas; lugares en los que hay tanques abiertos con líquidos volátiles inflamables; cuartos o compartimentos de secado por evaporación de solventes inflamables; lugares que contienen equipo para la extracción de grasas y aceites que usan solventes volátiles inflamables; zonas de plantas de lavandería y tintorería donde se utilizan líquidos peligrosos; cuartos generadores de gas y otras zonas de plantas de fabricación de gas donde gases inflamables pueden escapar; cuartos de bombeo de gases inflamables o líquidos volátiles inflamables inadecuadamente ventilados; el interior de refrigeradores o congeladores en los cuales materiales inflamables se almacenan en recipientes abiertos no herméticamente cerrados o frágiles y todas las demás zonas de trabajo donde existe la posibilidad de que se presenten concentraciones peligrosas de gases o vapores inflamables en el curso de las operaciones normales.

**TABLA 500-2 PRODUCTOS QUIMICOS POR GRUPOS**

**Atmósferas Grupo A**  
acetileno

**Atmósferas Grupo B**

acroleína (inhibida)<sup>2</sup>  
butadieno<sup>1</sup>  
óxido de etileno<sup>2</sup>  
hidrógeno  
gases manufacturados que  
contienen mas de 30% de  
hidrógeno(en volúmen)  
óxido de propileno<sup>2</sup>

**Atmósferas Grupo C**

acetaldehido  
alcohol alílico  
n-butiraldehido  
monóxido de carbono  
crotonaldehido  
ciclopropano  
éter dietílico  
dietilamina  
epiclorhidrina  
etileno  
etilenimina  
sulfuro de hidrógeno  
morfolina  
2-nitropropano  
tetrahidrofurano  
dimetil hidrazina asimétrica  
(UDMH 1, 1-dimetil hidrazina)

**Atmósferas Grupo D**

ácido acético (glacial)  
acetona  
acrilonitrilo  
amoníaco<sup>3</sup>  
benceno  
butano

1-butanol (alcohol butílico)  
2-butanol (alcohol butílico secundario)  
n-acetato de butilo  
acetato de isobutilo  
alcohol sec-butílico  
di-isobutileno  
etano  
etanol (alcohol etílico)  
acetato de etilo  
etil acrilato (inhibido)  
etilén diamina (anhidra)  
dicloro etileno  
gasolina  
heptano  
hexano  
isopreno  
éter isopropílico  
óxido de mesitilo  
metano (gas natural)  
metanol (alcohol metílico)  
3-metil-1-butanol (alcohol isoamílico)  
metil etil cetona  
metil isobutol cetona  
2-metil-1-propanol (alcohol isobutílico)  
2-metil-2-propanol (alcohol butílico terciario)  
nafta de petróleo<sup>4</sup>  
piridina  
octano  
pentano  
1-pentanol (alcohol amílico)  
propano  
1-propanol (alcohol propílico)  
2-propanol (alcohol isopropílico)  
propileno  
estireno  
tolueno  
acetato de vinilo  
cloruro de vinilo  
xileno.

<sup>1</sup> El equipo para Grupo D se podría usar en esta atmósfera si está aislado de acuerdo con la Sección 501-5 (a), sellando todos los tubos conduit iguales o mayores a 1/2 pulgada.

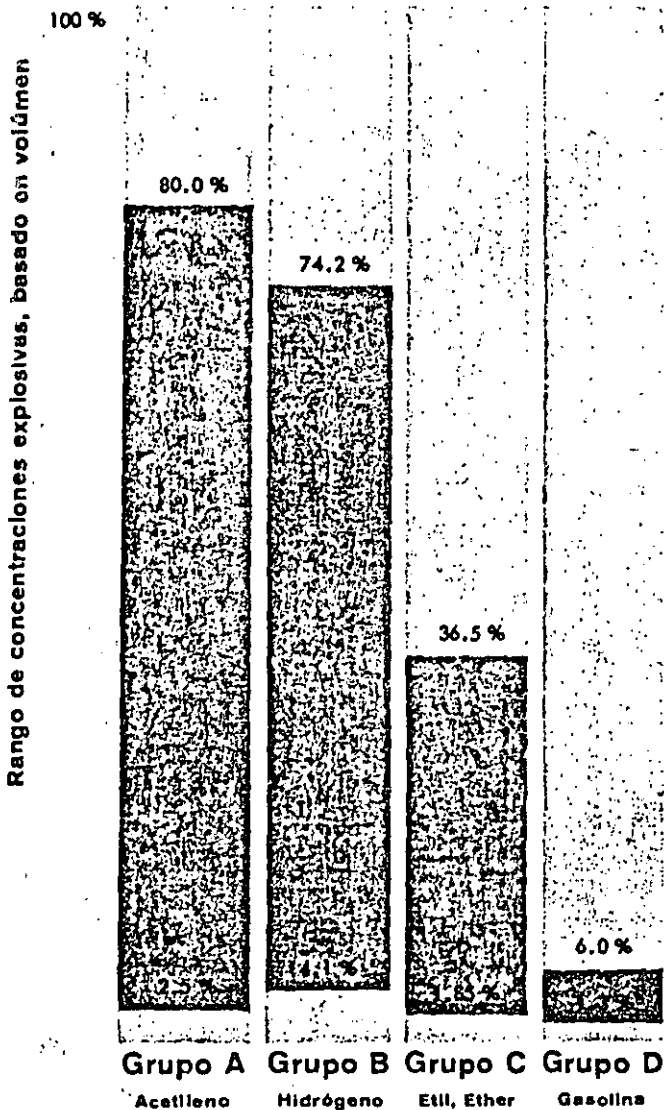
<sup>2</sup> El equipo para Grupo C se podría usar en esta atmósfera si está aislado de acuerdo con la Sección 501-5 (a), sellando todos los tubos conduit iguales o mayores a 1/2 pulgada.

<sup>3</sup> Para la clasificación de áreas con atmósferas de amoníaco, referirse al Código de Seguridad de Refrigeración Mecánica (ANSI B 9.1-1971) y a los Requisitos de Seguridad para Almacenamiento y manejo de Amoníaco Anhidro (ANSI K 61.1-1972).

<sup>4</sup> Mezcla de hidrocarburos saturados que hierve en el rango de 20 a 135°C (68-275°F). También se le conoce como bencina, éter de petróleo, nafta o ligroina.

### Clasificación de áreas en donde hay peligro de explosión - Tabla I

#### Límites de explosividad Superior e inferior



#### Clase I - Atmósferas peligrosas

- Grupo A**  
Acetileno
- Grupo B**  
Hidrógeno, gases o vapores de peligrosidad similar tales como gases fabricados
- Grupo C**  
Etil, Ether, Etileno, Ciclopropano
- Grupo D**  
Gasolina, Hexano, Nafta, Bencina, Butano, Propano, Alcohol, Acetona, Bencol, Vapores del Solvente de Laca, Gas natural.

#### Clase II - Polvos combustibles

- Grupo E**  
Polvo metálico, incluso de Aluminio o Magnesio y otras aleaciones comerciales.
- Grupo F**  
Carbon negro, Antracita o polvo de Coque
- Grupo G**  
Harina, Almidón, polvo de granos



Una área Clase I División 2 es aquella (1) en la cual se manejan, procesan o usan líquidos volátiles o gases inflamables pero en las que estos líquidos o gases se encuentran normalmente dentro de recipientes o sistemas cerrados, de los cuales pueden escaparse solo en caso de ruptura accidental o en caso de operación anormal del equipo, ó (2) en la cual se evitan concentraciones peligrosas de gases o vapores por medio de ventilación mecánica y que solo podrían ser peligrosos en caso de falla u operación anormal del equipo de ventilación, ó (3) aquella adyacente a una área Clase I División 1 y en la cual concentraciones peligrosas de gases o vapores podrían comunicarse a menos de que esta comunicación se evite por medio de una ventilación adecuada con presión positiva de una fuente de aire limpio y protección efectiva contra fallas del equipo de ventilación.

Esta clasificación generalmente incluye sitios donde se usan líquidos volátiles, gases o vapores inflamables pero en los cuales, a juicio de la autoridad correspondiente, llegarían a ser peligrosos solo en caso de accidente u operación anormal del equipo. La cantidad de material peligroso que podría escaparse en caso de accidente, el equipo de ventilación existente, el tamaño del área involucrada y la estadística de explosiones o incendios en esa rama industrial, son todos factores que deben considerarse para determinar la clasificación del área y sus limitaciones en cada sitio.

Tuberías sin válvulas, sellos, medidores y dispositivos similares, ordinariamente no provocan condiciones peligrosas, aún cuando sean utilizados para líquidos o gases peligrosos. Los lugares utilizados para el almacenamiento de líquidos peligrosos o gases licuados o comprimidos dentro de recipientes sellados, normalmente no se consideran peligrosos a menos que estén también sujetos a otras condiciones de peligrosidad.

Cuando las tuberías eléctricas (conduit) y sus correspondientes accesorios se encuentran separados del área de proceso por un solo sello o barrera, deberán clasificarse como División 2 siempre y cuando el exterior de la tubería y de los accesorios sea una área no peligrosa.

Para describir adecuadamente una área que contiene un gas o vapor inflamable, es necesario determinar la Clase, el Grupo y la División.

En el NEC, los polvos combustibles se clasifican como Clase II y se agrupan de acuerdo con su temperatura de ignición y su grado de conductividad en Grupos E, F y G.

Grupo E: Atmósferas que contienen polvos metálicos, como aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales y otros metales de características de peligrosidad semejantes.

Grupo F: Atmósferas que contienen polvo de carbón mineral, de carbón vegetal o de coque en concentraciones mayores a 8% de material volátil total (especificaciones ASTM D-1620 y ASTM D-271) o atmósferas que contienen estos polvos activados por otros materiales que puedan representar el riesgo de una explosión.

Grupo G: Atmósferas que contienen harina, almidón o polvos de granos.

1. — Algunas atmósferas de productos químicos pueden tener características que requieran una protección mayor que cualquiera de los grupos antes mencionados. El bisulfuro de carbono es uno de estos productos químicos por su baja temperatura de ignición, 100°C, y por la facilidad con que su flama escapó a través de los claros entre las juntas de las cajas que lo contienen.
2. — Algunos polvos metálicos pueden tener características que requieran una protección mayor que la requerida para atmósferas que contienen polvos de aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales por ejemplo los polvos de zirconio, torio y uranio tienen temperaturas de ignición extraordinariamente bajas, 20°C y requieren una cantidad de energía, para su ignición, menor que la de cualquier otro material clasificado en los grupos de las Clases I o II.

Las áreas clasificadas como Clase II también pueden ser subdivididas en División 1 y División 2. Una área clasificada como Clase II División 1 es aquella (1) en la cual hay o puede haber polvo combustible en suspensión en el aire en forma continua, intermitente o periódica bajo condiciones normales de operación, en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas o inflamables; (2) o donde debido a fallas mecánicas u operación anormal de la maquinaria o el equipo puedan producirse tales mezclas explosivas o inflamables y que una falla simultánea del equipo eléctrico o de los sistemas de protección pueda originar una fuente de ignición; (3) o en la cual polvos combustibles con características de conductividad eléctrica puedan estar presentes.

Esta clasificación incluye generalmente lugares de trabajo donde existe manejo o almacenamiento de granos; plantas donde hay trituradoras, pulverizadoras, limpiadoras, desgranadoras, descascaradoras, separadores, transportadores o gusanos abiertos, tolvas o embudos abiertos, mezcladoras, empacadoras, pesadoras, elevadores, distribuidores, colectores (excepto colectores totalmente metálicos ventilados hacia el exterior) y toda maquinaria y equipo similar que produce polvos en fábricas o plantas procesadoras de granos, plantas de almidón, plantas pulverizadoras de azúcar, plantas de producción de malta, molinos de forraje y otras de naturaleza similar; plantas pulverizadoras de carbón (excepto aquellas donde el equipo de pulverización es a prueba de polvo); todos los lugares de trabajo donde se producen, se procesan, se empaquetan o se almacenan, excepto en recipientes herméticos, polvos metálicos y todos los lugares similares donde, bajo condiciones de operación normal, están presentes polvos combustibles en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas o inflamables.

Los polvos combustibles no conductores eléctricos incluyen polvos producidos en el manejo y proceso de granos y productos de grano, cocoa y azúcar pulverizados, leche y huevo en polvo, especias pulverizadas, almidón y harinas, papas, semillas de frijol, forraje y otros materiales orgánicos que puedan producir polvos combustibles cuando se manejan o procesan. Los polvos no metálicos conductores eléctricos, incluyen polvos de carbón vegetal, carbón mineral y coque. Los polvos que contienen magnesio y aluminio son particularmente peligrosos y se requiere extrema precaución para evitar su ignición y explosión.

Una área Clase II División 2 es aquella en la cual el polvo combustible no está normalmente en suspensión en el aire ni será puesto en suspensión por la operación normal del equipo, en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables o explosivas, pero donde (1) el depósito o la acumulación de tal polvo combustible puede ser suficiente para interferir la adecuada disipación de calor del equipo o aparato eléctrico; ó (2) el polvo combustible acumulado o depositado sobre ó alrededor del equipo eléctrico puede inflamarse por arcos, chispas o calentamiento de tal equipo.

Los lugares donde generalmente se reúnen las condiciones arriba descritas incluyen secciones de plantas con transportadores y gusanos cerrados, tolvas o embudos cerrados o maquinaria y equipo que producen apreciables cantidades de polvo solo en condiciones anormales de operación; las zonas adyacentes a las áreas clasificadas como Clase II División 1 que se describieron anteriormente y en las cuales concentraciones inflamables o explosivas de polvo en suspensión podrían producirse sólo bajo condiciones anormales de operación; zonas donde la formación de concentraciones inflamables o explosivas de polvo en suspensión se evita por la operación de un equipo efectivo de control de polvos; bodegas y zonas de embarque donde materiales que producen polvo son almacenados o manejados solamente en bolsas o recipientes y otros sitios semejantes.

Las áreas Clase III son aquellas que son peligrosas por la presencia de fibras o materiales volátiles fácilmente inflamables, pero en las cuales tales fibras o volátiles normalmente no se encuentran en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables. Las áreas Clase III se dividen en la siguiente forma:

- a) Una área Clase III División 1 es aquella en la cual se manejan, fabrican o utilizan fibras fácilmente inflamables o materiales que producen volátiles combustibles.

Estas áreas generalmente incluyen plantas textiles de rayón, algodón y fibras semejantes; plantas fabricantes o procesadoras de fibras combustibles; molinos de semilla de algodón, plantas alijadoras de algodón; plantas procesadoras de lino; fábricas de ropa, talleres de carpintería y todas las industrias o talleres que tienen procesos o condiciones semejantes. Entre las fibras y materiales volátiles fácilmente inflamables se encuentran el rayón, el algodón, el henequén, el ixtle, el yute, la fibra de coco, el cáñamo, la estopa, la lana vegetal, el musgo, la viruta y otros materiales similares.

- b) Una área Clase III División 2 es aquella en la cual se manejan o almacenan fibras fácilmente inflamables, con excepción del lugar donde se fabrican.

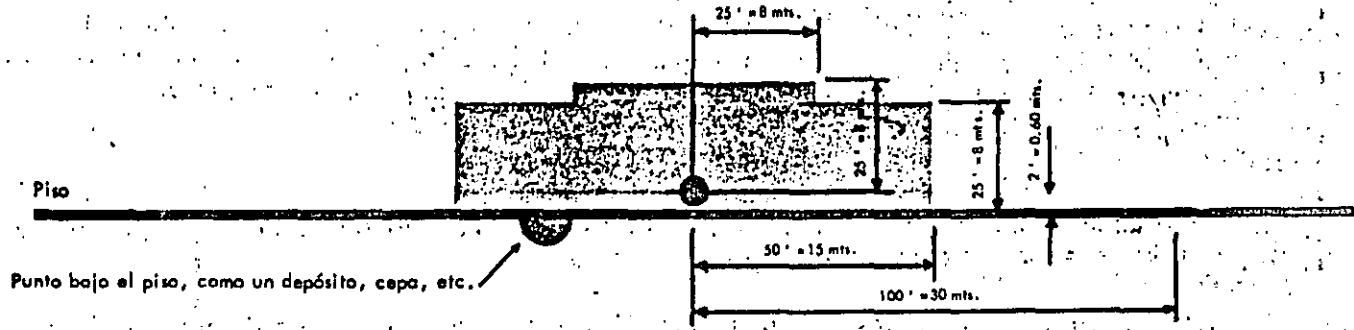
Para que haya un fuego o una explosión, deben reunirse 3 condiciones:

1. — Un líquido inflamable, vapor o polvo combustible debe estar presente en el ambiente en cantidades suficientes.
2. — El líquido inflamable, vapor, o polvo combustible debe mezclarse con aire u oxígeno en las proporciones requeridas para producir una mezcla explosiva.
3. — Una fuente de energía debe aplicarse a la mezcla explosiva.

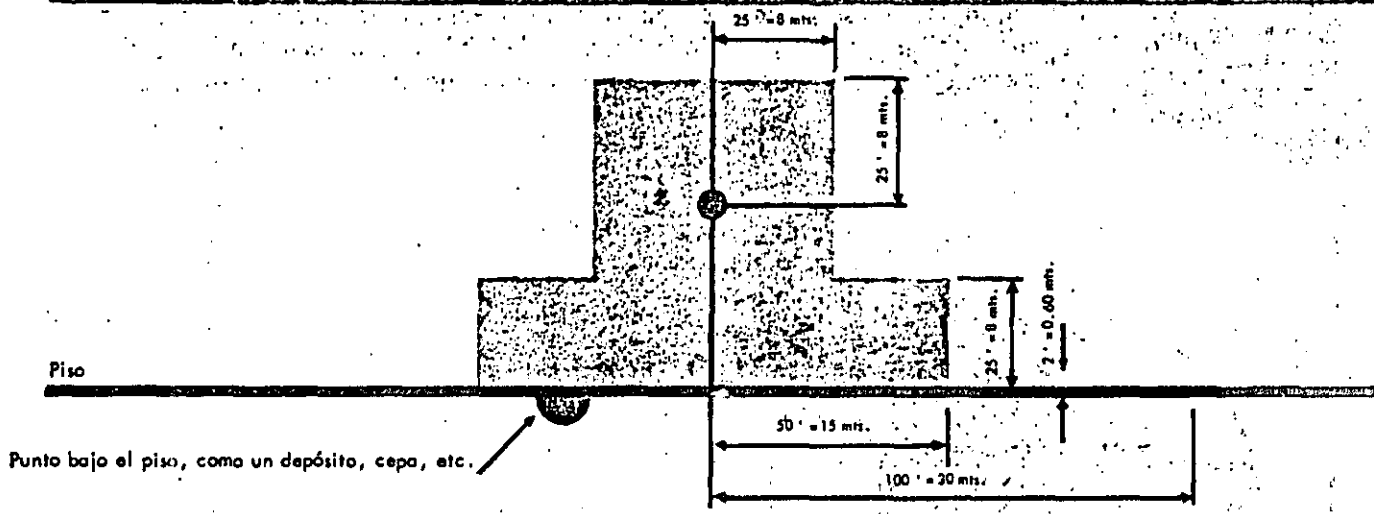
De acuerdo con estos principios, debe considerarse tanto la cantidad de líquido inflamable o vapor que puede encontrarse en el ambiente, como sus características físicas. Por ejemplo los gases más ligeros que el aire se dispersan tan rápidamente en la atmósfera que, excepto en espacios confinados, no producen mezclas peligrosas en áreas cercanas a instalaciones eléctricas. Los vapores procedentes de líquidos inflamables tienen también una tendencia natural a dispersarse en la atmósfera y se diluyen rápidamente a concentraciones menores al límite inferior del rango inflamable (explosivo), especialmente cuando existe movimiento de aire. La probabilidad de que la concentración de gas se encuentre por arriba del límite máximo del rango inflamable o explosivo, no proporciona ninguna garantía, ya que la concentración debe pasar primero dentro de los límites de dicho rango.

El análisis de estas condiciones básicas es el principio para la clasificación de áreas peligrosas. Después de que una área ha sido clasificada según su Clase, Grupo y División, debe seleccionarse el equipo eléctrico adecuado que puede ser usado en dicha área.

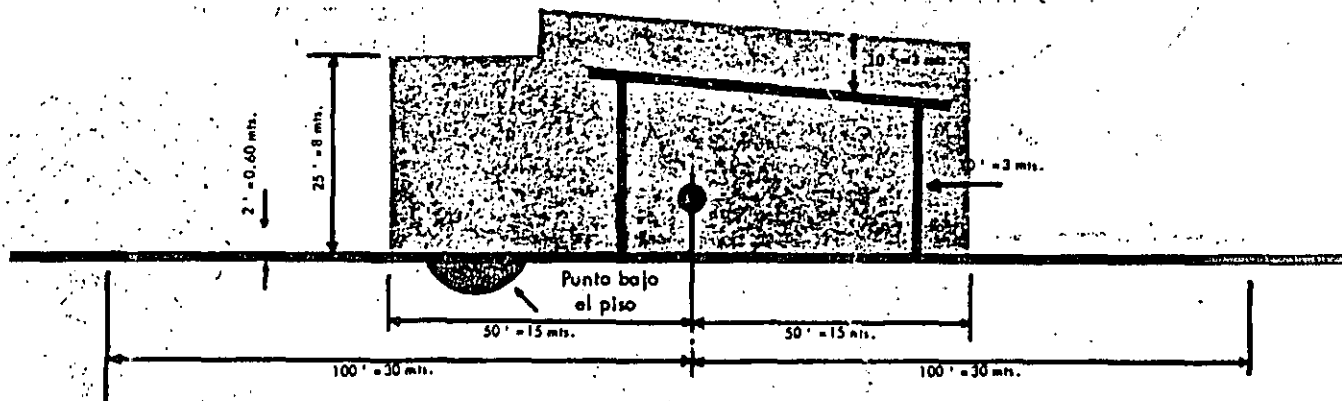
**Area de proceso libremente ventilada (Origen del peligro cerca del piso) - Fig. 1**



**(Origen del peligro localizada arriba del piso) - Fig. 2**



**Area de proceso con ventilación restringida. Fig. 3**



- Fuente de peligro
- División 1
- División 2
- Area adicional de la Div. 2 cuando hay un escape grande de volátiles

## TIPOS DE EQUIPO

El equipo eléctrico puede usarse con seguridad en áreas peligrosas siempre y cuando haya sido construido en una forma adecuada para una área definida de acuerdo a su Clase, Grupo y División. (6)

En los Estados Unidos diversos tipos de construcción de equipo se aceptan como apropiados para áreas Clase I. El mas comunmente usado es equipo construido a prueba de explosión. Este tipo de construcción requiere que la envolvente sea lo bastante fuerte para resistir la explosión interna de un determinado gas o vapor y que impida la ignición del gas o vapor que se encuentra en la atmósfera por chispas o flamas que provengan del interior o por el aumento de la temperatura en la superficie de la envolvente.

Generalmente estas envolventes se hacen de fierro, acero o aluminio con un diseño que impide el paso de la flama o el escape de la presión interna.

Comunmente se utilizan dos tipos de juntas. Una es la junta plana rectificada que se muestra en la Figura 1.

En este tipo de unión, las dos superficies se mantienen perfectamente unidas por medio de tornillos. El ancho mínimo para el paso de la flama es de  $3/8$ " , con un claro máximo de  $0.0015$ ". La experiencia ha demostrado que este claro previene que los gases calientes escapen al exterior.

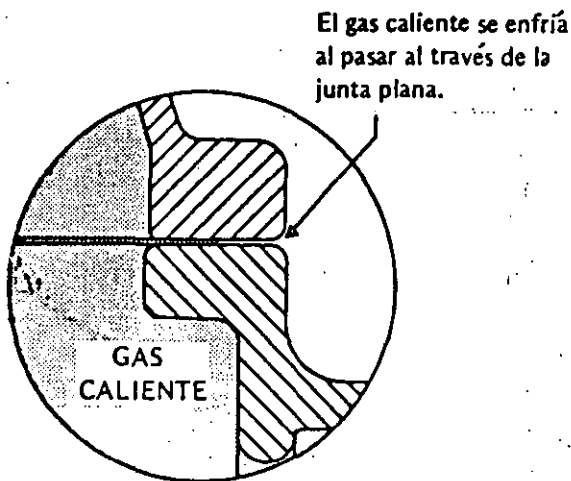


Figura 1: Junta Plana

El gas caliente se enfría al pasar al través de la junta roscada.

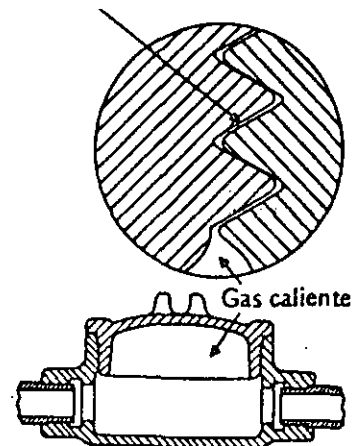


Figura 2: Junta Roscada

Otro tipo de junta que frecuentemente se utiliza, es la tapa roscada que se muestra en la Figura 2.

Este tipo requiere que un mínimo de cinco hilos de la rosca estén en contacto. Cuando dentro de la envolvente ocurre una explosión, los hilos de la rosca de la tapa se aprietan contra los hilos de la rosca del cuerpo, forzando así al gas caliente a recorrer toda la trayectoria helicoidal entre el cuerpo y la tapa lo que lo enfría suficientemente antes de lograr salir a la atmósfera circundante.

En los Estados Unidos se aceptan otros tipos de equipo para áreas peligrosas. Entre ellos podemos nombrar los tipos de equipo sumergido en aceite, equipo presurizado y equipo intrínsecamente seguro. El uso del equipo sumergido en aceite está declinando. En este tipo, el equipo eléctrico se sumerge completamente en aceite lo que impide que el gas peligroso se ponga en contacto con el dispositivo que forma el arco eléctrico. Este tipo de equipo se usa frecuentemente en aparatos grandes de control donde no es práctico utilizar equipo a prueba de explosión.

La instalación de equipo presurizado está especificada en el Boletín 496 de la NFPA. Este equipo requiere que aire limpio o gas inerte se bombee dentro del sistema eléctrico lo que impide que el gas peligroso penetre. Los detalles y requisitos específicos se mencionan en el Boletín 496. El uso principal de este tipo de equipo es en cuartos de control, gabinetes para instrumentos grandes y motores de medio y alto voltaje.

El equipo intrínsecamente seguro es un equipo eléctrico especialmente diseñado para limitar la energía disponible a un nivel tan bajo que no produzca una chispa, ni caliente la superficie lo suficiente para encender un gas, vapor o polvo específico. El uso principal de este tipo de equipo es en instrumentos que se utilizan en industrias de proceso. Los requisitos de instalación de este equipo están especificados en el Boletín 493 de la NFPA. Los circuitos eléctricos deben funcionar de tal modo que los voltajes inducidos no se apliquen sobre el alambrado eléctrico.

El principal tipo de equipo para áreas Clase II es el equipo a prueba de ignición de polvo. Su diseño es diferente al del equipo para Clase I, ya que se diseña para impedir la entrada de polvo en el equipo y no requiere soportar explosiones internas. La principal condición que debe reunir el equipo para áreas Clase II es que opere, bajo un manto de polvo, a una temperatura lo suficientemente baja para que no incendie o queme el polvo. La mayor parte del equipo se diseña de tal modo que evita la acumulación del polvo.

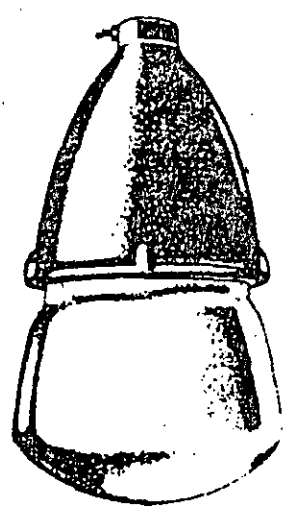


Figura 3: Luminario a prueba de ignición de polvos

El equipo que se instale en áreas Clase III deberá ser capaz de operar a plena capacidad sin calentarse al grado de que cause deshidratación excesiva o carbonización gradual de las fibras o material volátil que se le acumule. El material orgánico carbonizado o excesivamente deshidratado es susceptible de incendiarse espontáneamente.

## DISEÑO DE SISTEMAS ELECTRICOS

El diseño de un sistema existente puede o no incluir las recomendaciones del Departamento de Seguridad, sin embargo existen algunos puntos clave que el Ingeniero de Seguridad deberá tomar en cuenta al diseñar una nueva instalación eléctrica o modificar la existente.

El Código Nacional Eléctrico especifica los requisitos para instalar equipo eléctrico. Debe tenerse en cuenta que estos son los requisitos mínimos de seguridad. Pueden añadirse requisitos adicionales para obtener instalaciones más seguras. La creación de la OSHA, hace algunos años, ha originado la necesidad de que todas las instalaciones eléctricas cumplan con el NEC. La OSHA también exige que todos los locales peligrosos cumplan con las especificaciones del NEC de 1971. Por lo tanto, pueden necesitarse ciertas modificaciones en las instalaciones eléctricas existentes, si la planta fue construida antes de esa fecha.

Un nuevo punto añadido al NEC de 1971 exige especial atención del Ingeniero de Diseño. Este punto es el requisito de límite de temperatura. El Código exige que todos los artículos eléctricos que producen calor sean marcados con una clasificación de temperatura tal como se muestra en la Tabla 500-2 (b). Este requisito se modificó en el Código de 1975; el cual señala que cualquier aparato que opere a una temperatura inferior a 100°C no necesita marcarse. De hecho esto significa que los luminarios, motores y otros equipos similares deben marcarse.

Los requisitos para áreas Clase I División 2 han sido modificados en el NEC de 1978. Los equipos eléctricos para dichas áreas pueden ahora operar a temperaturas iguales a la temperatura de ignición de la atmósfera que los rodea. Anteriormente podían operar solo a una temperatura máxima del 80% de la temperatura de ignición de tal atmósfera.

## CLASIFICACION DE AREAS

Para poder determinar el tipo de equipo eléctrico que debe usarse, es necesario estudiar cuidadosamente la clasificación de las diferentes áreas. Venturosamente, existen muchos documentos que ayudan en la determinación de los límites de las Divisiones 1 y 2. La correcta clasificación debe proporcionar instalaciones eléctricas seguras y también permitir el uso de equipo más económico. Algunos de los documentos que pueden usarse como referencia son las Series RP500 del API que muestran en ilustraciones y fotografías los límites de las Divisiones. Además de estas Series, los Artículos 511, 513, 514, 515 y 516 del NEC proporcionan requisitos específicos. El Registro Federal que promulgó los requisitos de OSHA también especifica la clasificación de ciertas áreas. El NFPA 70 C es un nuevo documento que recopila clasificaciones de otros documentos del NFPA y es muy útil ya que concentra toda la información en uno solo.

Un problema que se presenta frecuentemente es el de cómo clasificar un gas o polvo que no está listado en el NEC. Hay muchas maneras de obtener la información. Una forma sería el revisar los estándares internacionales o revisar las publicaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional. En estas organizaciones se han clasificado muchos más gases que en los Estados Unidos. En muchos casos los estándares internacionales no toman en cuenta la acumulación de presión, así que pueden haber algunas diferencias entre las clasificaciones de Estados Unidos y las de otros países. Si es necesario, cualquier gas puede ser clasificado mediante el uso del equipo de Underwriters Laboratories.

## SELECCION DE EQUIPO

La selección del equipo es una consideración importante. El equipo eléctrico debe ser apropiado para la Clase y el Grupo del área donde va a usarse. Sería muy peligroso usar un equipo para Clase I Grupo D, en atmósferas de hidrógeno. Esto es también cierto al usar equipo para Clase I en áreas Clase II.

En áreas Clase I, los dispositivos que forman arcos eléctricos como arrancadores e interruptores se construyen a prueba de explosión tanto para División 1 como para 2.

Sin embargo las luminarias para División 2 son generalmente unidades selladas y provistas de empaques.

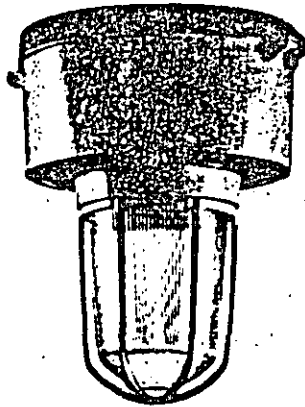


Figura 4: Luminaria Sellada y con Empaque para Clase I División 2

Muchos de los dispositivos que forman arco eléctrico, apropiados para Clase I, lo son también para la Clase II. Una cuidadosa revisión de los catálogos de los fabricantes identificará los productos adecuados para cada Clase y Grupo. Información adicional se encuentra en los Artículos 501 y 502 del NEC que especifican los tipos de equipo permitidos para áreas peligrosas.

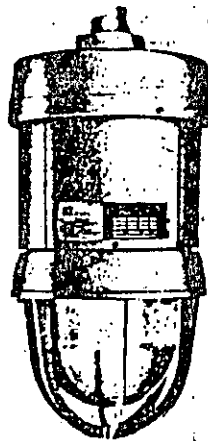


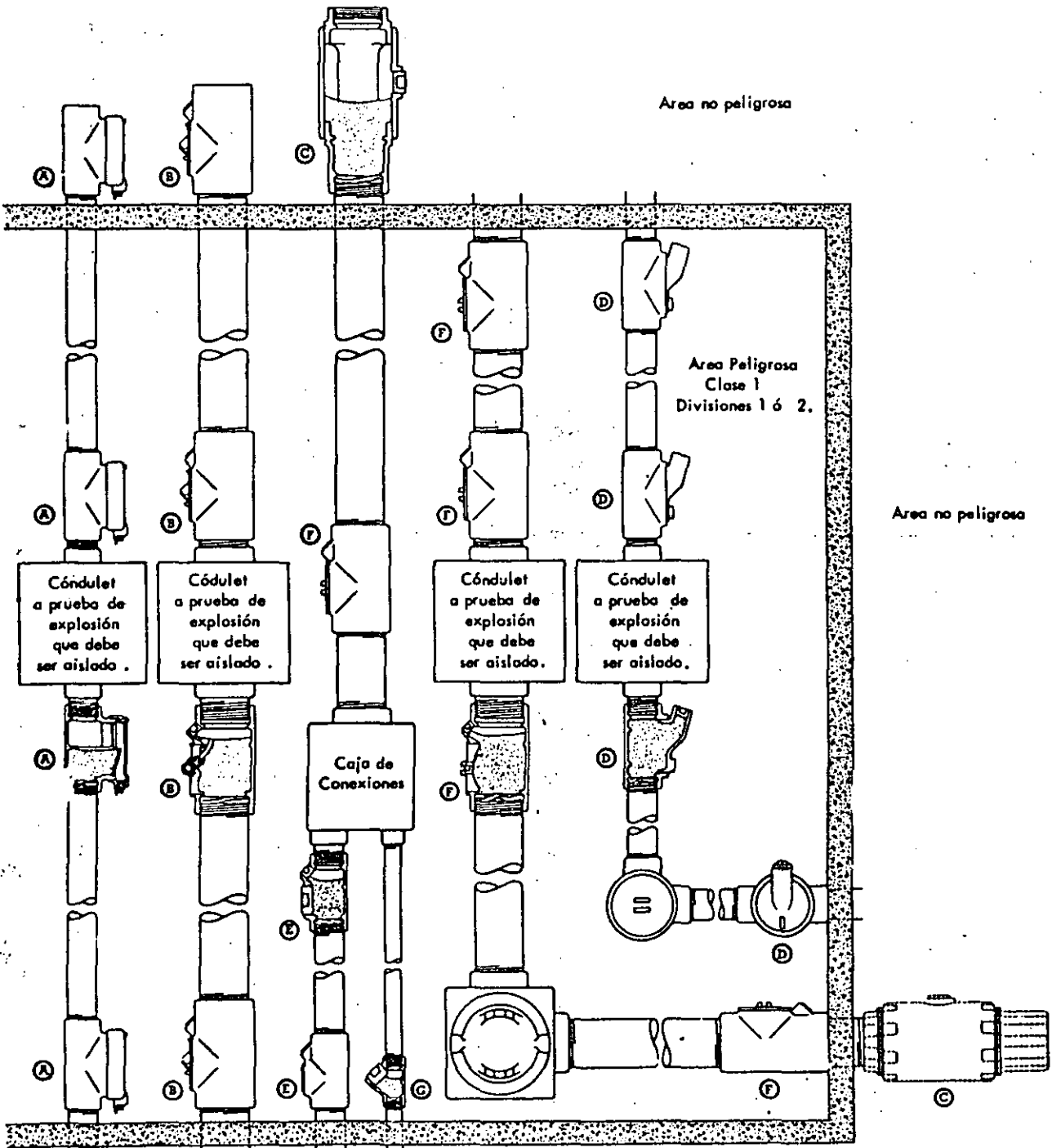
Figura 5: Luminaria HID para Clase I, División 1



En el NEC 75 se adicionó un nuevo Artículo, el 318, titulado Charolas para Cable. El Código ha reconocido también el uso de charolas para cable en áreas División 2. Este artículo detalla los requisitos para la colocación de los cables sobre la charola, los tipos de cable permitidos y los requisitos de área de sección transversal del riel ó larguero lateral. Reconoce también un nuevo tipo de cable, TC (cable para charola) que es un cable no metálico designado especialmente para instalación en charolas. Es necesario leer cuidadosamente este Artículo para cerciorarse de que las instalaciones cumplen con el Código.

El NEC 78 reconoce el uso de tubería conduit metálica (acero) para instalación en toda clase de áreas peligrosas. Debe ser roscado NPT, excepto en áreas donde se permite tubería conduit sin rosca.

### SELECCION DE SELLOS



- A - Sellos EZD, con dren para instalación vertical, de 1/2 a 2-1/2".
- B - Sellos EYD, con dren para instalación vertical, de 3 a 6".
- C - Sellos EZS, para instalación vertical ú horizontal de, 3-1/2 a 6".
- D - Sellos EZS, para instalación vertical ú horizontal de, 1/2 a 3".
- E, F, G. Sellos EYS, para instalación vertical ú horizontal de, 1/2 a 6".

## INSTALACION

Al instalar el equipo, algunos puntos deben vigilarse para asegurarse que la instalación es segura. Uno importante es el que toda la tubería esté perfectamente apretada a las cajas o coples. Puesto que la tubería es la trayectoria de regreso para la falla de corriente, las roscas flojas pueden causar sobrecalentamiento y chispas. De hecho, el NEC requiere que el tubo conduit se apriete con una llave de tuercas.

Los sellos constituyen otra consideración importante en las áreas peligrosas. El Código requiere que se instalen dentro de una distancia de 18" (45.72 cm) a los dispositivos que producen arco eléctrico, antes de entrar a ó salir de un área peligrosa, en todos los tubos conduit de 2 ó mas pulgadas de diámetro que salgan de una envolvente y que presenten derivaciones o empalmes. Estos sellos se hallan disponibles en varias formas para instalaciones verticales y horizontales de tubería conduit.

El compuesto sellador que se use debe ser aprobado para tal fin. Todos estos compuestos se mezclan con agua, se expanden y al solidificarse, resisten el ataque de productos químicos este proceso se llama "curado". Un sello bien "curado" impide el paso del gas o de la presión de una área a otra. La instalación del sello sin el compuesto, no ofrece seguridad en la instalación.

Cuando la instalación se ha terminado, debe hacerse una inspección para cerciorarse que todas las tapas y tornillos están en su lugar. El dejar un solo tornillo fuera de lugar puede destruir la característica "a prueba de explosión" de una instalación. Deben usarse lámparas y calentadores, que son partes de los equipos, del tamaño y capacidad apropiados. Una lámpara de mayor capacidad que la indicada provocaría un sobrecalentamiento en la luminaria y comprometería la seguridad de la instalación.

## CORROSION

El uso de equipo eléctrico en ambientes corrosivos ha sido un problema tradicional en la industria. La excelente cooperación entre los fabricantes y los usuarios ha minimizado dicho problema en los últimos años. Ahora existe ya una solución satisfactoria a la mayor parte de los agentes corrosivos, si el usuario inspecciona y mantiene el equipo periódicamente. En los equipos de perforación y en los barcos el mantenimiento de rutina se efectúa a las estructuras de acero y los cascos. Lo mismo debe hacerse con el equipo eléctrico. Al través de muchos años de experiencia, hemos aprendido que la corrosión no es un problema grave si se selecciona el material adecuado para cada aplicación.

Muchos fabricantes de tubería conduit la recubren ahora con una capa de resina epoxio cloruro de polivinilo PVC. Debe tenerse cuidado al instalar los tubos conduit ya que no se recubren las roscas en los extremos. Muchos productos de Crouse-Hinds se surten con recubrimiento epóxico y pueden obtenerse agregando un sufijo al número de catálogo.

Tenemos mas de 2,000 productos fabricados con Krydon, un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio, especialmente diseñado para utilizarse en ambientes corrosivos.

Todos los reflectores de nuestras luminarias estan hechos con este material plástico que previene el ataque de la corrosión. Debe señalarse que algunos plásticos que se usan en la industria eléctrica, no soportan la corrosión o la luz del sol.

En Estados Unidos, el aluminio "libre de cobre" ha tenido éxito cuando es expuesto al agua salada. Por medio de la cuidadosa selección de materiales, hemos aprendido que utilizar el material adecuado es un modo de protegerse contra la corrosión.

### REQUISITOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento del equipo eléctrico en áreas peligrosas se menciona pero no se detalla en el NEC. Los siguientes puntos deben observarse en cualquier instalación:

1. — Debe darse servicio o desarmarse el equipo eléctrico solo después de desenergizar los circuitos de abastecimiento y debe ensamblarse perfectamente antes de reenergizarlos.
2. — Los martillos, destornilladores y otras herramientas no deben dañar las juntas planas de las envolventes a prueba de explosión.
3. — Las tuercas y tornillos que aseguran juntas a prueba de explosión deben permanecer bien atornilladas durante todo el tiempo que los circuitos estén energizados.
4. — No deben dejarse acumular partículas extrañas en la superficie rectificada de las juntas planas ya que impiden el ajuste adecuado y podrían permitir que las chispas o flamas del interior se propaguen a la atmósfera.
5. — Cuando se ensambla una envolvente, toda la grasa, suciedad, pintura u otro material extraño debe limpiarse de la superficie, utilizando un cepillo y petróleo ó un solvente con un punto de inflamación (flash point) mayor de 38°C. Una película de aceite ligero ó lubricante del tipo recomendado por el fabricante, debe aplicarse a las juntas del cuerpo y de la tapa. Inmediatamente después de aplicarlo, la tapa debe cerrarse perfectamente ya que el lubricante puede atraer materiales extraños.
6. — Las tapas roscadas deben apretarse bien, sin forzarlas, para evitar que se aflojen por vibración.

### CAMBIOS EN LA CLASIFICACION DE AREAS PELIGROSAS EN CODIGO NACIONAL ELECTRICO 1978

Los principales cambios o adiciones fueron los siguientes:

Artículos 500 a 516: La tubería conduit de acero IMC se acepta para todas las áreas Clase I, II y III. Debe ser roscada con cuerda NPT excepto en los casos en que se permite la tubería sin rosca EMT.

Sección 500-2: Se agregó una nota indicando que los polvos de zirconio, torio y uranio no se clasifican en ningún Grupo de la Clase II debido a su baja temperatura de ignición. 45

Sección 500-2 (a): Se añadió un párrafo que acepta la utilización del equipo para uso general, en las Secciones apropiadas de los Artículos 501, 502 y 503. Esto no amplía la utilización del equipo para uso general.

Sección 500-2 (b): El equipo para uso general, con la excepción de luminarias fijas, no tiene que ser marcada con la Clase, Grupo y División.

Tabla 500-2: 20 productos químicos se han agregado a la lista clasificada de productos químicos peligrosos.

Sección 501-4 (b): El cable PLTC puede ser usado en áreas Clase I. Es una nueva designación del cable usado para circuitos de señalización. Es similar al cable TC pero tiene conductores mas pequeños.

Sección 501-5 (a): Se ha hecho un intento para definir el uso de uniones, codos y pequeñas cajas de conexión entre una envolvente a prueba de explosión y el sello correspondiente. Se permite el uso de uniones, cajas pequeñas GUA, etc. entre el sello y la envolvente a prueba de explosión.

Sección 501-5 (d): Los cables multiconductores dentro de tubos conduit en áreas Clase I División 1, pueden ser sellados como los que tienen un solo conductor, si es que no transmiten el gas peligroso. Si transmiten gas, el forro exterior debe quitarse y los conductores aislados y las terminales del cable sellarse.

Sección 501-5 (e) 2: En las áreas Clase I División 2, los cables con forro continuo metálico o no metálico que no escurran mas que un sello en un accesorio sellado, no tienen que sellarse excepto cuando entren a una envolvente a prueba de explosión.

Sección 501-5 (e) 3: Los cables con forro continuo que puedan transmitir gas, deben ser también sellados cuando salen del área peligrosa.

Sección 501-16 (b): Cuando se utiliza tubo conduit flexible, la continuidad de la conexión puede ser interna o externa.

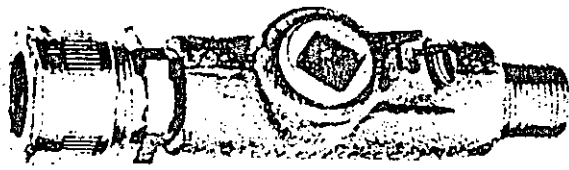
Tabla 502-1: Esta tabla se agregó para mostrar las máximas temperaturas superficiales permitidas para equipo para Clase II. No aparecía antes en el Código, aunque si en los requisitos de U.L.

Sección 516-2 (a): Esta sección sobre procesos de acabado, que define las áreas Clase I División 1, ha sido modificada para reflejar los cambios hechos por la NFPA 33 en sus estándares. Las cifras fueron corregidas para que se puedan leer mas fácilmente.

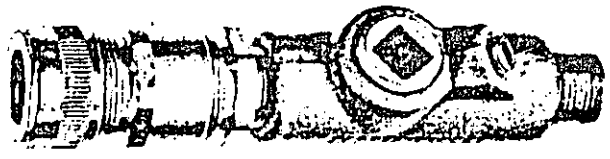
## COMISION ELECTROTECNICA INTERNACIONAL ( I E C )

Es de esperarse que la discusión acerca de la entrada directa e indirecta de cables haya sido finalmente resuelta. Durante algunos años los Comités Nacionales han preferido el método indirecto mientras que otras organizaciones han preferido el método directo. El IEC y los estándares propuestos por el Cenelec reconocen ambos métodos.

El grupo de trabajo de reglamentos para instalación ha reglamentado la instalación de sistemas de tubo conduit y cable. Las reglas para el tubo conduit son las mismas que aparecen en este documento. Otro sistema aceptado es el sistema mixto. Este sistema se usa en algunos países donde el equipo a prueba de explosión tipo Norteamericano se usa con cables. Abajo se muestran ejemplos de conectores para cable que cumplen con los estándares del IEC:



Conector para cable armado sin forro



Conector para cable armado

**RESUMEN**

La selección, instalación, operación y mantenimiento del equipo eléctrico en áreas peligrosas requiere de una clasificación precisa de las áreas y de comprensión y atención a los requisitos específicos del equipo y de los sistemas eléctricos.

Existe una gran cantidad de material de referencia para ayudar a la clasificación de las áreas y una variedad amplia de equipos está disponible para todo tipo de áreas peligrosas.

El apropiado uso del equipo eléctrico en áreas peligrosas ayudará a proteger vidas e instalaciones y proporcionará estadísticas de mayor seguridad.

## REFERENCIAS

17

1. — Código Nacional Eléctrico Edición 1978 :  
NFPA No. 70-1978
2. — Clasificación de Areas Peligrosas  
NFPA No. 70C-1974
3. — Código de Líquidos Inflamables y Combustibles  
NFPA No. 30-1976
4. — Envolventes Presurizados para Equipo Eléctrico  
NFPA No. 496-1974
5. — Equipo Intrínsecamente Seguro para Control de Procesos en Areas Peligrosas Clase I  
NFPA No. 493-1975
6. — Clasificación de Areas Peligrosas Clase I para Instalaciones Eléctricas en Plantas Químicas  
NFPA No. 497-1975
7. — Directorio de Materiales Eléctricos para Construcción (Libro Verde)  
Underwriters Laboratories Inc.
8. — Directorio de Equipo para Areas Peligrosas (Libro Rojo)  
Underwriters Laboratories Inc.
9. — Instituto Americano del Petróleo. Recomendaciones Prácticas para Clasificación de Areas para Instalaciones Eléctricas  
API-RP500A En refinерías de petróleo  
API-RP500B En instalaciones de petróleo  
API-RP500C En instalaciones para transporte de petróleo y gas por tubería
10. — Compendio del Código — Artículos 500-503 y 510-517 del Código Nacional Eléctrico  
Crouse-Hinds Company Boletín 2916
11. — Guía para Diseño y Construcción de Sistemas Eléctricos en Areas Peligrosas  
Electrical Construction and Maintenance 1974/1975



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 7: SISTEMAS DE TIERRAS

ING. ENRIQUE OROZCO LOPEZ  
ING. ANDRES D. CHAVEZ SAÑUDO

MAYO, 1985

Al proyectar un sistema eléctrico de distribución, se pone especial énfasis en los métodos mejores para conducir el fluido eléctrico, como en la mejor manera de aislarlos del medio ambiente y entre sí. Se aplican los conocimientos tecnológicos de modo de tener el mejor control y la mejor protección para los circuitos eléctricos de control. Se busca la mejor -- coordinación tanto de aislamientos como de protecciones para lograr que el sistema eléctrico resulte eficiente, confiable, seguro y versátil.

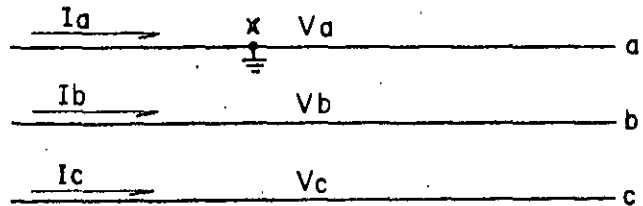
Todo el conjunto de elementos constituyentes del sistema eléctrico, está prácticamente a la vista y es de fácil acceso, pero existe una sección de las redes eléctricas del sistema de distribución (nos referimos al sistema de tierras) a la cual es muy conveniente dirigir nuestra atención. Es necesario aplicar nuestros conocimientos teórico-prácticos para seleccionar el mejor sistema para poder descargar segura y adecuadamente las corrientes resultantes de una falla a tierra, y no permitir sobretensiones peligrosas para el personal y los equipos de las instalaciones eléctricas.

Existen varias formas de referir el neutro de un sistema eléctrico a tierra: aterrizaje directo, por medio de reactancias, por resistencias y también el de neutro aislado de tierra (neutro flotante ó distribución del tal).

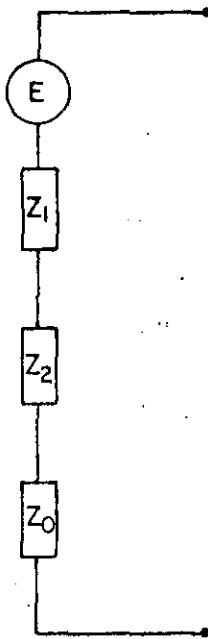


### 7.1 TIPOS DE SISTEMAS ATERRIZADOS Y NO ATERRIZADOS.

Supongamos un sistema trifásico con una falla de línea a tierra como se indica en la figura:



Utilizando la técnica de componentes simétricas podemos resolver el circuito como se indica a continuación:



$E$ .- Tensión de la Fuente

$Z_1$ .- Impedancia de secuencia positiva, vista desde el punto de falla X.

$Z_2$ .- Impedancia de secuencia negativa, vista desde el punto de falla X.

$Z_0$ .- Impedancia de secuencia cero, vista desde el punto de falla X.

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$E_1 = E \left( 1 - \frac{Z_1}{Z_0 + 2Z_1} \right)$$

$$E_2 = -E \frac{Z_1}{Z_0 + 2Z_1}$$

$$E_0 = -E \frac{Z_0}{Z_0 + 2Z_1}$$

$$V_a = 0$$

$$V_b = E_0 + a^2 E_1 + a E_2$$

$$V_c = E_0 + a E_1 + a^2 E_2$$

$$a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_b = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\frac{Z_0}{Z_1} - 1}{\frac{Z_0}{Z_1} + 2} \quad (\text{P. U.})$$

$$V_c = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\frac{Z_0}{Z_1} - 1}{\frac{Z_0}{Z_1} + 2} \quad (\text{P. U.})$$

$$Z_1 = R_1 + j X_1$$

$$Z_0 = R_0 + j X_0$$

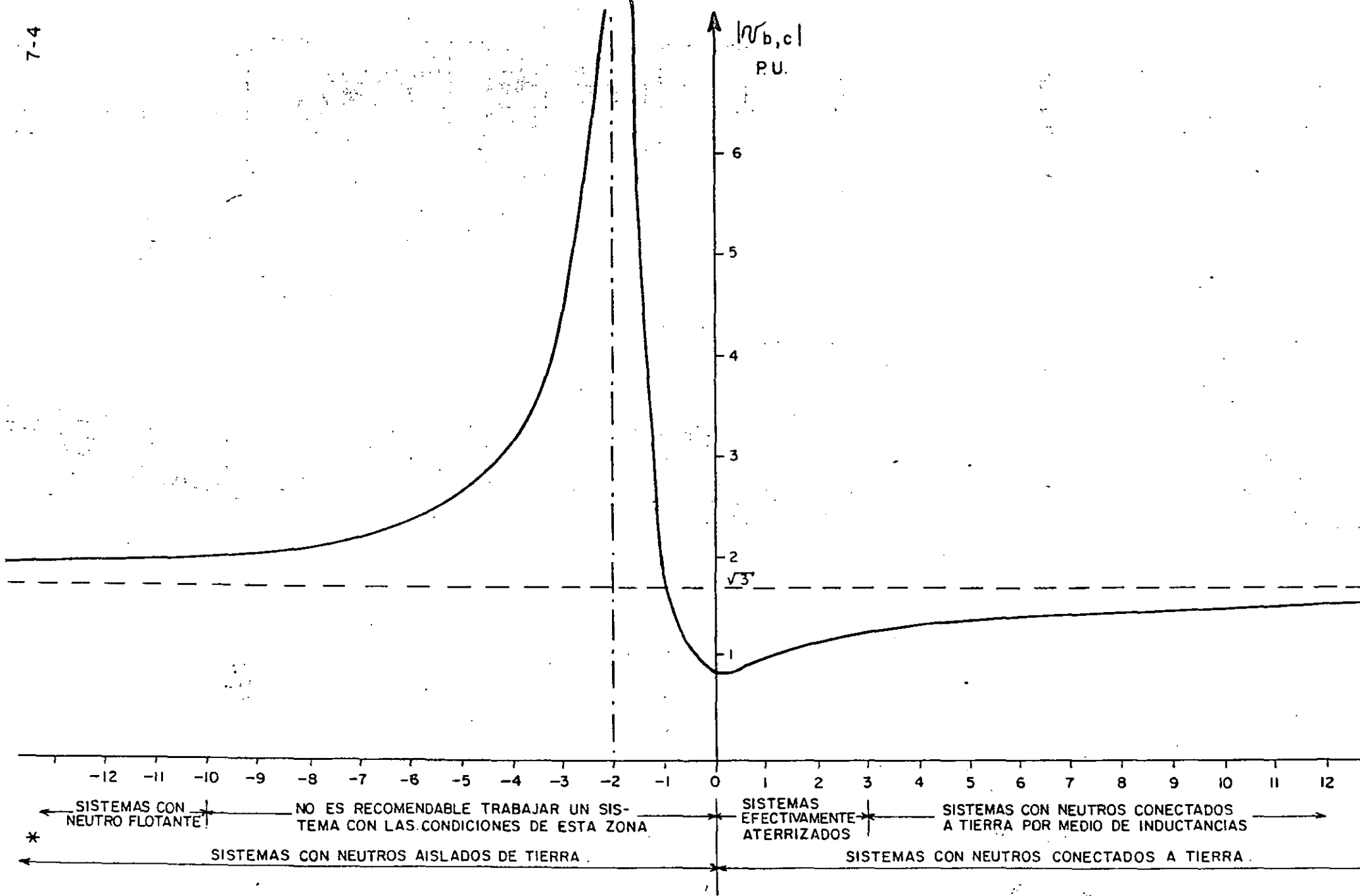
Si para simplificar despreciamos  $R_1$  y  $R_0$  podemos generalizar las ecuaciones anteriores:

$$V_{b,c} = -\frac{1}{2} \mp j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\frac{X_0}{X_1} - 1}{\frac{X_0}{X_1} + 2}$$

Dando valores a la relación  $X_0/X_1$  podemos encontrar las tensiones que aparecen en las líneas (b,c) no falladas:

$\frac{X_0}{X_1}$	$ V_{b,c} $ (P.U.)	OBSERVACIONES
0	$\sqrt{3}/2 = 0.866$	La reactancia en secuencia positiva es función de la inductancia del circuito de potencia y siempre el de valor positivo. La reactancia en secuencia cero, corresponde a la que tiene el retorno por tierra, en este caso es de valor positivo y significa que los neutros están conectados a tierra.
1	1	
3	1.25	
10	1.5	
$\infty$	$\sqrt{3}$	
-1	$\sqrt{3}$	La reactancia en secuencia positiva no puede tener valor negativo. Si la reactancia en secuencia cero es de valor negativo, significa que los neutros del sistema están conectados a tierra con capacitancias, y estamos por lo tanto en el caso de neutros flotantes.
-1.5	4.51	
-2	$\infty$	
-3	4.51	
-4	3.12	
-6	2.41	
-10	2.02	
-40	1.8	
$-\infty$	$\sqrt{3}$	

Graficando la Información anterior obtenemos:



\* LOS PUNTOS EN DONDE  $\frac{X_0}{X_1} \approx \pm \infty$  CORRESPONDEN A SISTEMAS CON EL NEUTRO CONECTADO A TIERRA POR MEDIO DE UNA BOBINA DE PETERSEN

Analizando la gráfica anterior podemos apreciar que el tipo de aterrizamiento de un sistema eléctrico depende fundamentalmente de las sobretensiones a la frecuencia de generación que aparecen cuando una línea se pone a tierra. Podemos conocer por lo tanto, el grado de aterrizamiento de un sistema por medio de sus parámetros de diseño  $X_0$ ,  $X_1$  y  $R_0$ , como veremos a continuación:

- SISTEMA EFECTIVAMENTE ATERRIZADO.

Es el que tiene la mayor parte de sus neutros conectados directamente a una tierra de baja impedancia y que es capaz de conducir la corriente máxima de corto circuito.

Las condiciones para que el sistema se considere efectivamente aterrizado, son que para cualquier condición de operación y cualquier capacidad de generación se cumplan las siguientes relaciones.

$$0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

$$0 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

Con estas condiciones las sobretensiones a la frecuencia del sistema nunca podrán ser mayores de 1.4 p.u., y el factor de aterrizamiento siempre será menor de  $1.4 / \sqrt{3} = 0.81$

Prácticamente todos los sistemas de potencia y distribución están efectivamente aterrizados.

La mayoría de las instalaciones industriales nacionales, también caen dentro de esta categoría de aterrizamiento.

#### - SISTEMA ATERRIZADO POR RECTANCIA

Como su nombre lo indica, implica la inserción de una bobina entre el neutro y la red de tierras. Esta reactancia debe tener un valor tal que se cumplan las siguientes condiciones:

$$3 < \frac{X_0}{X_1} < \infty$$

$$3 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

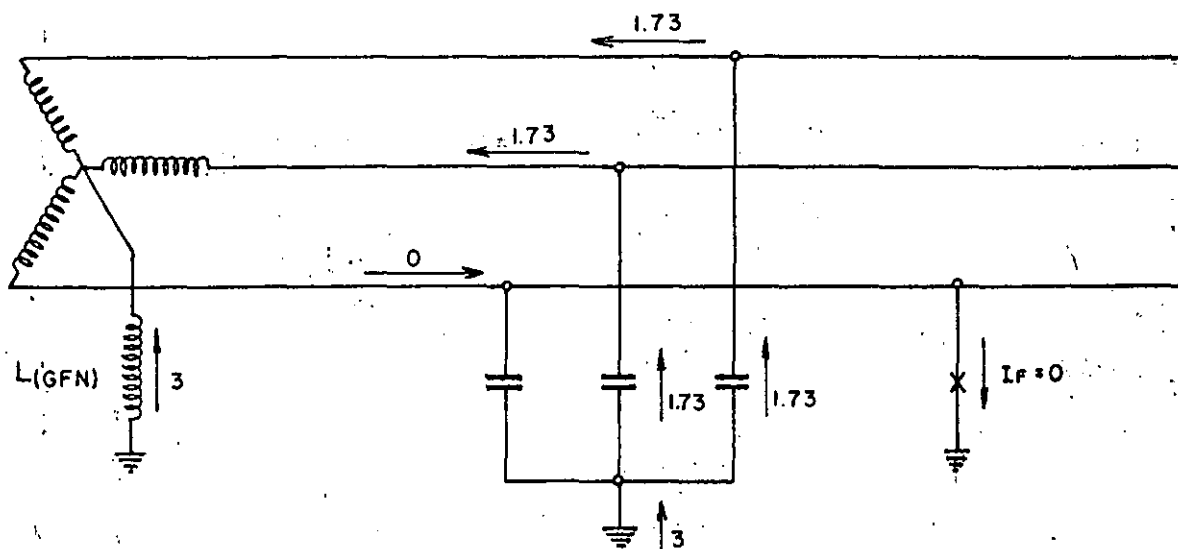
La red de tierras y la reactancia inductiva deben de poder conducir adecuadamente las corrientes de corto circuito del sistema.

Este sistema de aterrizamiento puede originar sobretensiones a la frecuencia del sistema, de más de 1.4 p.u. pero menores de 1.73 p.u., lo que nos da un factor de aterrizamiento entre 0.81 y 1.00.

Este sistema de aterrizamiento se emplea cuando por alguna razón se desea limitar la corriente de corto circuito de fase a tierra del sistema, y se pueden aceptar las sobretensiones que aparecen cuando existen disturbios. (Sobretensión transitoria 2.73 p.u. max.)

#### - SISTEMA ATERRIZADO POR BOBINA DE PETERSEN

Es un sistema con el neutro aterrizado por una bobina (GFN) de magnitud adecuada para formar un circuito resonante en paralelo, a la frecuencia de generación, con la capacitancia a tierra del sistema, de tal manera que la corriente de falla de una línea a tierra sea cero.



$$X_0 = \frac{(jWL)(-j\frac{1}{WC})}{(jWL) - (j\frac{1}{WC})} = +\infty$$

El método de cálculo detallado se puede encontrar en "JOINT EEI — BELL TELEPHONE SYSTEM REPORT VOL IV REPORTS 26 - 38".

Las sobretensiones a la frecuencia de generación son de 1.73 p.u.- y el factor de aterrizamiento es de 1.0.

Esta forma de aterrizamiento se usa en industrias en donde la continuidad de servicio es vital. El sistema puede seguir trabajando aún con una fase a tierra.

No se debe olvidar que el sistema debe estar convenientemente aislado para aguantar las sobretensiones que aparecen en éste sistema en caso de disturbios.

#### - SISTEMA CON NEUTRO FLOTANTE

Los neutros del sistema se dejan desconectados de tierra. Las sobretensiones a la frecuencia del sistema siempre serán mayores a 1.73 p.u.-

y para limitarlas a 2.0 p.u. (Factor de aterrizamiento de 1.1)

Se establece la condición  $X_0/X_1 \leq -10$  . Para sistemas de gran capacitancia a tierra, en donde no se cumple la condición anterior, no es recomendable trabajarlos con neutro flotante ya que no es posible resolver satisfactoriamente el problema del aislamiento.

Los sistemas con neutro flotante se utilizan en instalaciones industriales en donde la continuidad del servicio es necesaria, ya que pueden seguir trabajando aún con una fase fallada a tierra.

Las sobretensiones transitorias pueden ser muy altas especialmente las debidas a cargas atrapadas en las capacitancias a tierra. Es necesario asegurarse que no existe la posibilidad de que ocurran éstos fenómenos indeseables en un sistema, antes de decidir el uso del neutro flotante.

#### - SISTEMAS ATERRIZADOS POR RESISTENCIA.

Se utiliza en sistemas eléctricos de potencia y distribución en donde lo más común es aterrizar el neutro con una resistencia pequeña, para limitar la corriente de corto circuito de fase a tierra. En éstos casos las sobretensiones a la frecuencia nominal siempre serán menores a 1.73 p.u., factor de aterrizamiento no mayores a 1.00. Las sobretensiones transitorias quedan muy amortiguadas y se tiene ventaja con respecto a los sistemas aterrizados por reactancia, aunque la resistencia es voluminosa ya que debe disipar gran cantidad de energía durante las fallas de línea a tierra.

Cuando la resistencia es muy grande para limitar la corriente de falla de fase a tierra a valores muy bajos que permitan seguir operando la instalación industrial, aún con éste tipo de falla y sin los problemas de sobretensiones transitorias de los sistemas con neutro flotante, se recomienda-

dimensionar la resistencia de tal manera que  $Z_0 / X_1$  no se haga negativo.

$$Z_0 = \frac{R(-j \frac{1}{\omega C})}{R - j \frac{1}{\omega C}}$$



7-10

## 7.2 PROYECTOS DE REDES DE TIERRA.

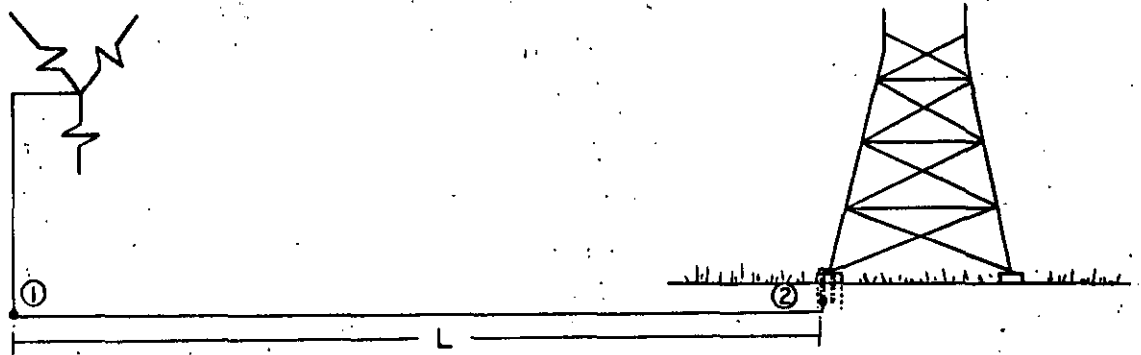
En el pasado, prevalecía el criterio de que cualquier objeto - aterrizado ya fuera que formara parte de un sistema de tierras o que por opinión propia era parte de una "buena tierra" podría ser tocado con toda seguridad. Aparentemente éste punto de vista era sólido, ya que si una estructura metálica, estaba conectada mecánicamente a una red hidráulica - en amplio contacto con el terreno, uno podría con plena seguridad apoyarse en ella, ya que cualquier línea de cualquier tensión que cayera sobre ella automáticamente igualaría su nivel de potencial al de tierra, es decir cero y el ser humano estaba a salvo de diferencias de potenciales peligrosos.

La experiencia de varios años, arrojó un resultado fatal, muchas vidas fueron segadas en forma totalmente extraña; caminando en un terreno - abierto con una "buena red de tierras" a sus pies, caían fulminadas, recargadas en una estructura metálica, morían electrocutados; ¿que pasaba con las tierras ?

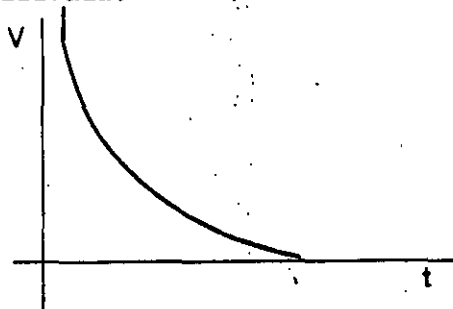
Se había solamente analizado el peligro de tensiones peligrosas - de línea a tierra ya fueran transitorias por descargas atmosféricas ó por caídas de líneas más no se habían analizado los efectos secundarios de tales circunstancias; no se había contemplado el efecto de la corriente de falla al circular por el terreno.

¿Que pasa cuando ocurre una falla a tierra en un sistema debidamente aterrizado?

Supongamos que tenemos un conductor enterrado conectado al neutro de un transformador y una línea cayendo a tierra a una distancia  $L$ .



La corriente de falla se distribuirá en el terreno circundante y tratará de cerrar el circuito a través de los puntos ① y ②, ocasionando una curva de niveles de tensión debidos al paso de la corriente de falla por una resistividad del terreno ( $\rho$ ) en una longitud ( $L$ ) lo que por ley de ohm -- 
$$dv = \rho L d_{icc}$$
, que nos arrojará una superficie equipotencial desarrollada de la siguiente forma simplificada.



Se observa que los decrementos de tensión son sumamente importantes en las proximidades del punto de falla ya que a pequeños incrementos de longitud, ocurren grandes incrementos de potencial, que pueden resultar de varios miles de volts. :

¿ Cual es el circuito eléctrico equivalente del cuerpo humano ?

Según reportes del IEEE, el umbral de percepción de la corriente eléctrica en un ser humano es del orden de 1 ma, ya en niveles de 9-25 ma, resulta un efecto doloroso y se empieza a presentar el fenómeno de contracción muscular que -

ocasiona el efecto de aferrarse a los objetos electrizados, 50-100 ma, se presenta el umbral de la fibrilación ventricular, que es un fenómeno de daño irreversible en el corazón, para terminar en valores superiores con el daño total del mismo y la muerte por ausencia total de actividad palpatoria combinada con la asfixia,

Se puede considerar que un valor seguro para un corazón sano es de 25 ma, a través de él. Naturalmente es muy importante el tiempo de duración de dicha corriente.

Se ha comprobado que si el tiempo es menor, el cuerpo puede soportar corrientes mucho mayores determinándose una relación empírico-matemática por la fórmula de Charles Dalziel, como sigue:

EXIS AB  
10/1/55

$$I_k^2 t = 0.0135$$

de donde:

$I_k$  : corriente en amperes a través del cuerpo

$t$  : duración de la falla en segundos

**0.0135**: factor empírico basado en el concepto de constante de energía.

De la fórmula anterior:

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

Con respecto a la resistencia del cuerpo, es pertinente anotar que según las experiencias en la Universidad de Columbia, se ha obtenido el valor-

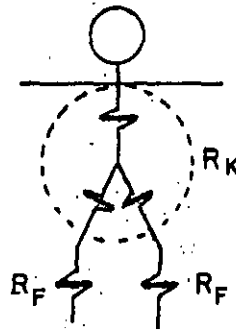
promedio de 2300 ohms entre mano y mano y 1100 ohms entre una mano y un pie

Como seguridad se emplea el valor de 1000 ohms en ambos casos -

( $R_k$ ).

Además se ha determinado que siendo la resistividad del terreno  $\rho_s$ , la resistencia de un pie ( $R_F$ ) será  $3 \rho_s$  ohms, por lo tanto entre dos pies en serie ( un paso ) será  $6 \rho_s$  ohms y los dos pies en paralelo (tocando con una mano el objeto energizado) será de  $1.5 \rho_s$ .

El circuito equivalente de un cuerpo humano promedio será



¿ Como se comporta una malla de tierra bajo condiciones de falla?

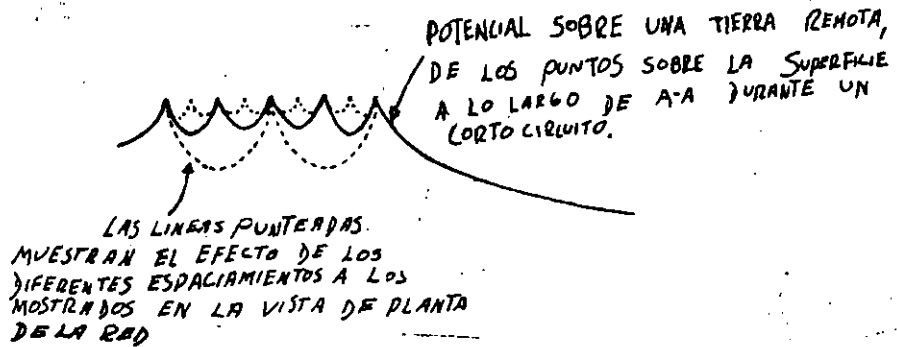
Por lo que respecta a la dispersión de corrientes en el terreno, como se muestra a continuación.



Por lo que respecta a los niveles de tensión, pueden trazarse su superficies equipotenciales como se puede apreciar.

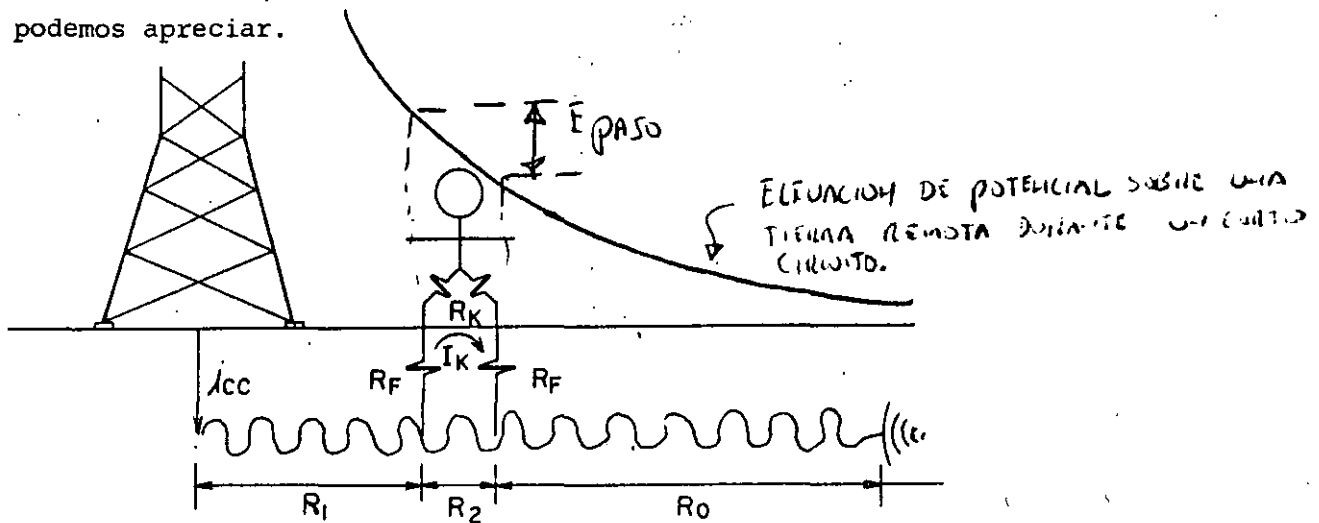


Las tensiones que aparecen en el nivel de piso terminado son:

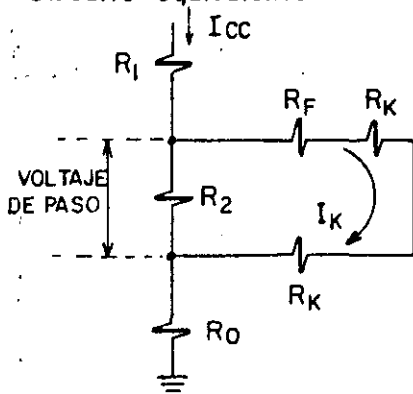


4.- Diferentes posibilidades de accidentes.

La primera posibilidad es que el individuo al dar un paso en una superficie bajo tensiones transitorias puede estar sometido a potencias peligrosas debido a una falla de fase a tierra ( voltaje de paso ) como podemos apreciar.

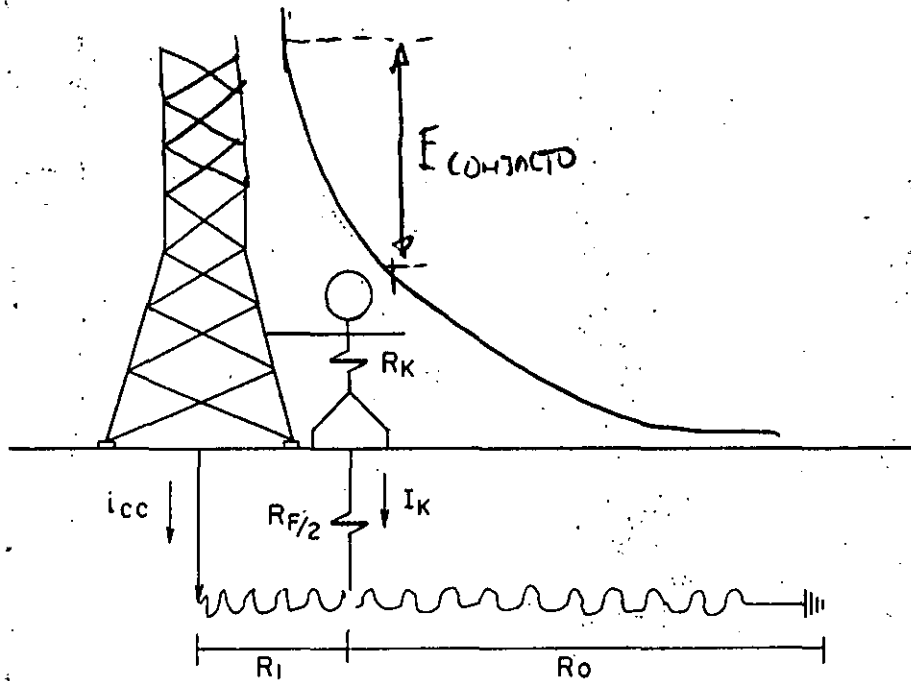


Circuito equivalente:

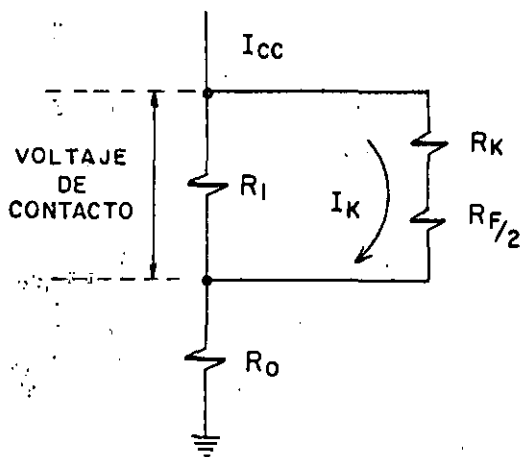


$$\begin{aligned}
 V_p &= (R_k + 2R_f) \times I_k \\
 &= (1000 + 6 \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \\
 &= \frac{116 + 0.7 \rho_s}{\sqrt{t}}
 \end{aligned}$$

La segunda posibilidad existe cuando una persona está parada -  
 junto a una estructura aterrizada y hace contacto manual con ella y -  
 ocurre una falla a tierra ( voltaje de contacto ) como se muestra:



Circuito equivalente :

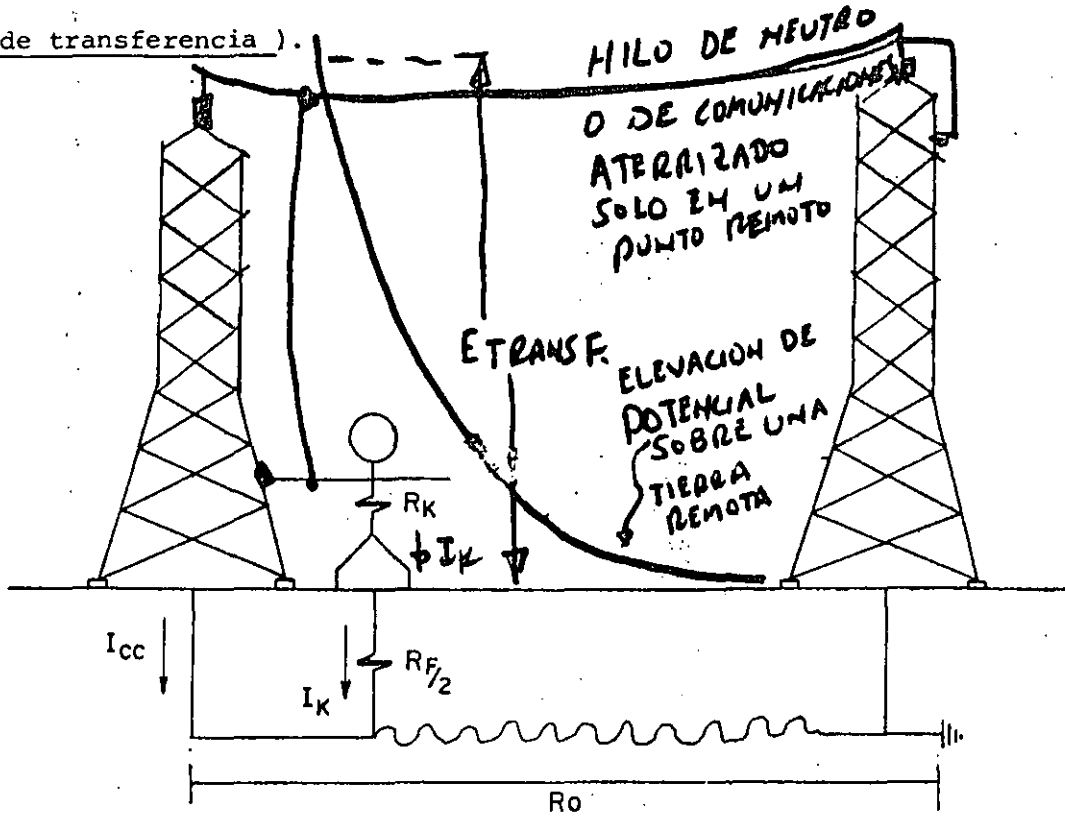


$$V_c = (R + R_{f/2}) I_k$$

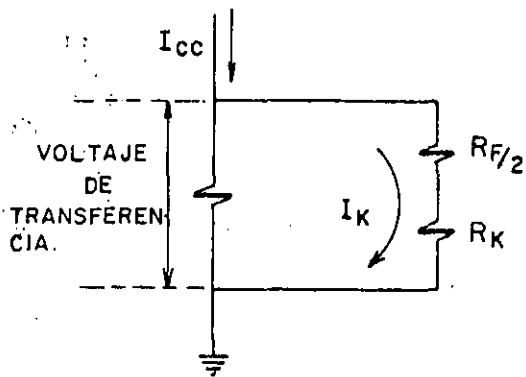
$$= (1000 + 1.5 \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{E}}$$

$$= \frac{116 + 0.17 \rho_s}{\sqrt{E}}$$

La tercera posibilidad es cuando existe un elemento metálico - aterrizado en un punto de falla y su longitud es tal que puede hacerse contacto simultáneamente con él y otra superficie también aterrizada ( voltaje de transferencia ).



Circuito equivalente



$$\begin{aligned}
 V_t &= (R_{f/2} + R_k) I_k \\
 &= (1000 + 1.5 \sqrt{s}) \frac{0.116}{\sqrt{t}} \\
 &= \frac{116 + 0.174 \sqrt{s}}{\sqrt{t}}
 \end{aligned}$$

Tanto los voltajes de paso como los de contacto y transferencia han sido fijados en un máximo de 150 V , y la duración máxima será de 1.2 - seg.

La secuencia de cálculo para proyectar una red de tierras con capacidad de conducir las corrientes de corto circuito y que presente seguridad al personal y equipos se indica a continuación:



## CALCULO DE REDES DE TIERRA

1.- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra IG.

2.- Determinación del calibre mínimo para evitar fusión mediante table de ---  
ONDERDONK.

DURACION DE LA FALLA SEG.	CM / A		
	CABLE	CONEXIONES SOLDADAS.	CONEXIONES MECANICAS.
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

$$S = (CM / A) \times IG$$

3.- Resistividad del terreno.

Fórmula de D.F. WENNER

$$\rho_s = \frac{4 \pi A^2 R}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

- $\rho_s$  = Resistividad el terreno en (ohm - m)  
 R = Resistencia medida con Megger en (ohms)  
 A = Distancia entre electrodos adyacentes en (m)  
 B = Profundidad de enterramiento de los electrodos en (m)

VALORES TIPICOS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO	
TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD (ohm - m)
Tierra Orgánica mojada.	10
Suelo húmedo.	$10^2$
Suelo seco.	$10^3$
Concreto armado.	$10^3$
Cama rocosa.	$10^4$

#### 4.- Diseño preliminar de la red de tierras.

$$L = \frac{K_m K_i \rho_{si} I_{cc} \sqrt{T}}{0.116 + 0.17 \rho_{s2}}$$

L - Longitud mínima del conductor enterrado en metros incluyendo las varillas.

$K_m$  - Coeficiente que toma en cuenta los conductores de la malla en cuanto a número, calibre y disposición

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \left( \frac{7}{8} \right) \dots$$

(n-2) términos  $\rightarrow$

D - Separación entre conductores de la malla (m)

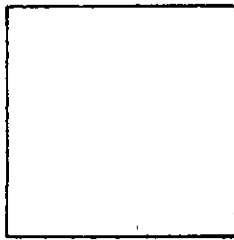
d - Diámetro de los conductores que forman la malla en (m)

h - Profundidad a la que se entierra la red en (m)

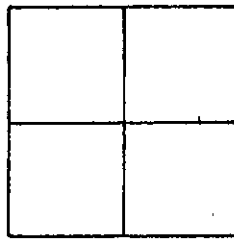
n - Espaciamientos de la malla.

$K_j$ .- Factor de corrección por irregularidades, tomando en cuenta la distribución irregular del flujo de corrientes a tierra.

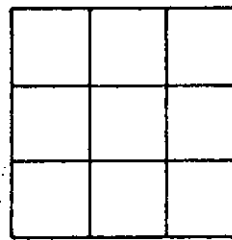
(factores  $K_j$  sugeridos por Walter Koch.)



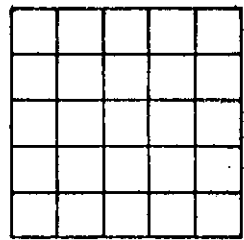
$K_j = 1$



$K_j = 1.16$



$K_j = 1.47$



$K_j = 2.21$

$\rho_{s1}$  - Resistividad del terreno en (ohms - m)

$\rho_{s2}$  - Resistividad del terreno que tocan los pies en (ohms - m)

$I_{cc}$  - Corriente eficaz máxima que fluirá de la red en conjunto hacia la tierra, en (AMP)

$$I_{cc} = I_G \times A \times D$$

A = Factor de Ampliación

D = Factor de Decremento

DURACION DE LA FALLA		FACTOR DE DECREMENTO
CICLOS A 60 Hz	SEG.	D
0.5	0.008	1.65
6	0.10	1.25
15	0.25	1.10
30 ó más	0.5 ó más	1.00

Para cálculos más precisos del Factor de decremento se puede emplear la siguiente fórmula

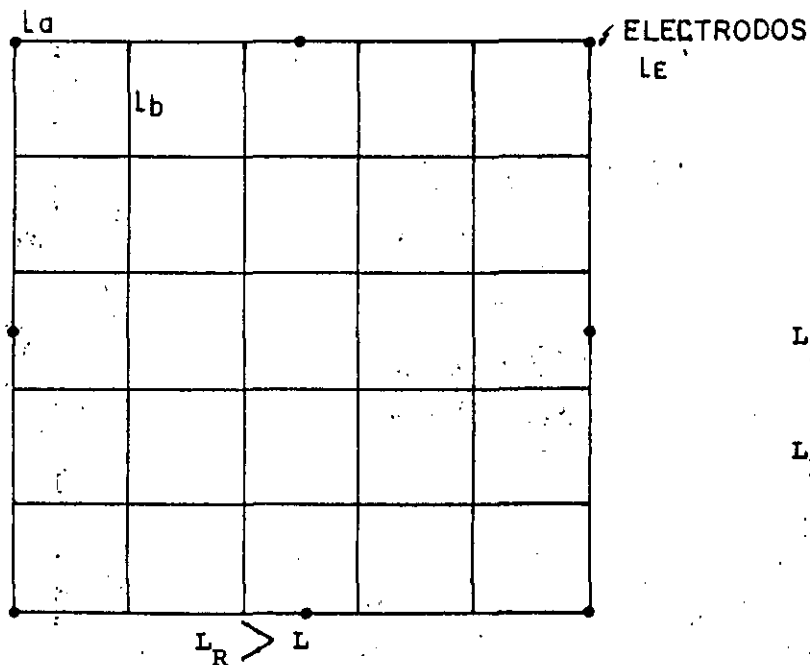
$$D = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ T + \frac{1}{\omega} \frac{X}{R} \left( 1 - e^{-\frac{2\omega T}{X/R}} \right) \right]}$$

T - Duración de la falla en (seg)

$$\omega = 2\pi f$$

X - Reactancia total del sistema en (ohms)

R - Resistencia total del sistema en (ohms)



$$L_R = \sum l_a + \sum l_b + \sum l_e$$

L<sub>R</sub> = Longitud real del conductor enterrado, incluyendo varillas en (m).

En caso contrario rediseñar la red hasta cumplir la condición.

5.- Cálculo de la resistencia de la red de tierras.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

r - Radio equivalente de la superficie de la red de tierras en (m)

A - Área de la red de tierras en (m<sup>2</sup>).

$$R = \frac{\rho_s}{4r} + \frac{\rho_s}{L_R}$$

R - Resistencia entre la red y tierra en (ohms)

6.- Cálculo del máximo aumento de potencial de la red en caso de falla.

$$E = I_0 R$$

7.- Cálculo del potencial de paso en el piso adyacente a la red.

$$E_s = K_s K_i \rho_{SI} \frac{I_0}{L_R}$$

E<sub>s</sub> = Potencial entre los pies de una persona al dar un paso cuando está -  
circulando la corriente máxima de falla de la red hacia la tierra en -  
(Volts)

K<sub>s</sub> = Coeficiente que considera la profundidad de enterrado de la red de --  
tierra y el número de conductores transversales de la red.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots + \frac{1}{13D} \right]$$

Hasta el número de espacios -  
transversales.

$K_i$  - Factor de corrección por irregularidad.

$\rho_{s1}$  - Resistividad del terreno en ( ohms - m )

$$E_s < E'_s = \frac{116 + 0.7 \rho_{s2}}{\sqrt{t}}$$

En caso contrario rediseñar la red para que ésta condición se cumpla.

#### 8.- Cálculo de potencial entre piso y elementos conectados a tierra.

Si  $L_R \geq L$  se considera que el potencial entre el piso y puntos tocados con la mano están dentro de los límites aceptables.

Como un ejemplo de aplicación presentamos el cálculo de la red de tierra de la unidad 4 de Salamanca.

#### 1.- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra.

##### a) Características del equipo:

Generador.- 344.44 MVA , 20 KV , F.P. = 0.8 , 3  $\phi$

60 cps , 3600 R.P.M.

$x_d$  = reactancia sincrónica = 157.0 %

$x'_d$  = reactancia transitoria = 28.0 %

$x_1 = x''_d$  = reactancia subtransitoria = 20.5 %

$X_2$  = Reactancia de secuencia negativa = 18.0 %

$x_0$  = Reactancia de secuencia cero = 8.5 %

Transformadores Principales.- Tres de 107 MVA c/u.

20 / 230 Kv . 1  $\phi$  , 60 cps.

% Z = 10.4

Sistema.- En el bus de 230 Kv. La capacidad interruptiva del mismo se considera de 15,000 MVA.

b) Corriente de falla a tierra en el lado de 230 Kv

BASE: 1 MVA.

Reactancias del Sistema:

$$X_{1S} = X_{2S} = X_{0S} = \frac{|x| \times 1}{15,000} = 0.000\ 066 \%$$

Reactancias de Transformadores Principales:

$$X_{1T} = X_{2T} = X_{0T} = \frac{0.104}{3 \times 10^7} = 0.000\ 324 \%$$

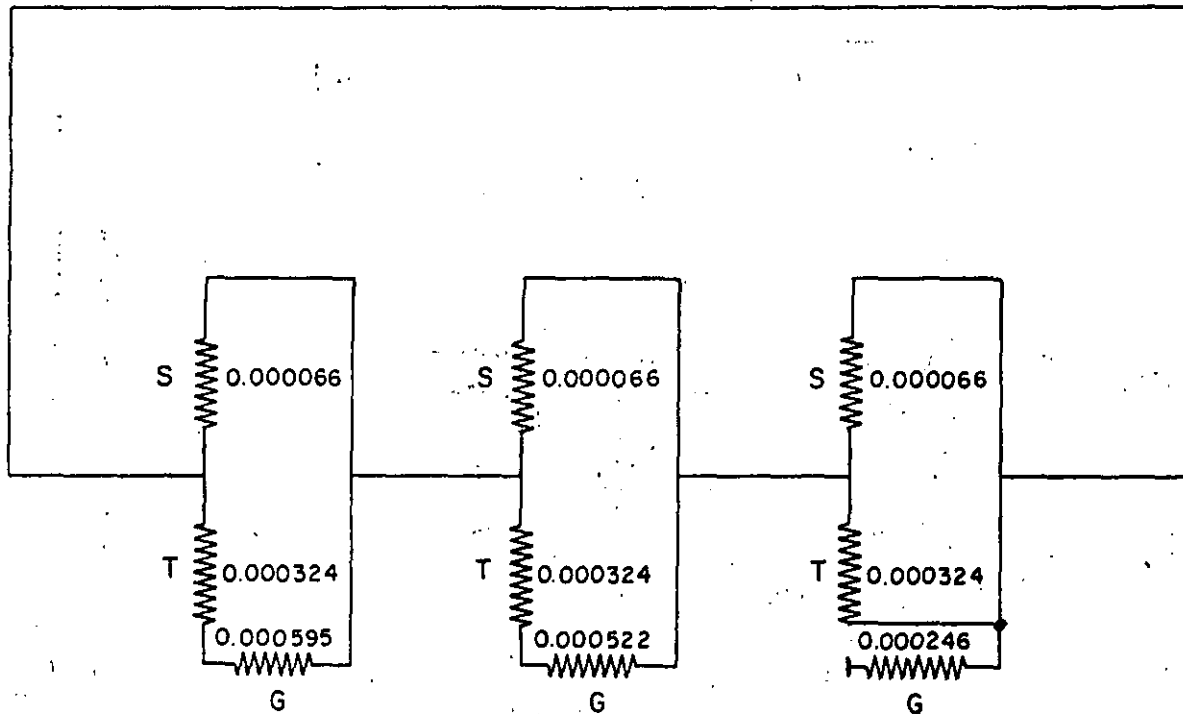
Reactancias del Generador:

$$X_{1G} = X''_d = \frac{0.205 \times 1}{344.44} = 0.000\ 595 \%$$

$$X_{2G} = \frac{0.18 \times 1}{344.44} = 0.000\ 522 \%$$

$$X_{0G} = \frac{0.085 \times 1}{344.44} = 0.000\ 246 \%$$

## REFERENCIA



Cálculo de  $X_{1R}$ ,  $X_{2R}$ ,  $X_{OR}$

$$0.000\ 324 + 0.000\ 595 = 0.000\ 919$$

$$X_{1R} = \frac{0.000\ 919 \times 0.000\ 066}{0.000\ 919 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0615$$

$$0.000\ 324 + 0.000\ 522 = 0.000\ 846$$

$$X_{2R} = \frac{0.000\ 846 \times 0.000\ 066}{0.000\ 846 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0612$$

$$X_{OR} = \frac{0.000\ 324 \times 0.000\ 066}{0.000\ 324 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0548$$



Fórmula para determinar la corriente de falla a tierra:

$$I_G = \frac{3}{X_{1R} + X_{2R} + X_{OR}}$$

Sustituyendo:

$$I_G = \frac{3}{0.000\ 0615 + 0.000\ 0612 + 0.000\ 0548} = 16901.4 \%$$

$$I_G = \frac{16901.4 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230} = 42426.2 \text{ Amp}$$

Determinación de la sección del conductor según la siguiente tabla ONDERDONK:

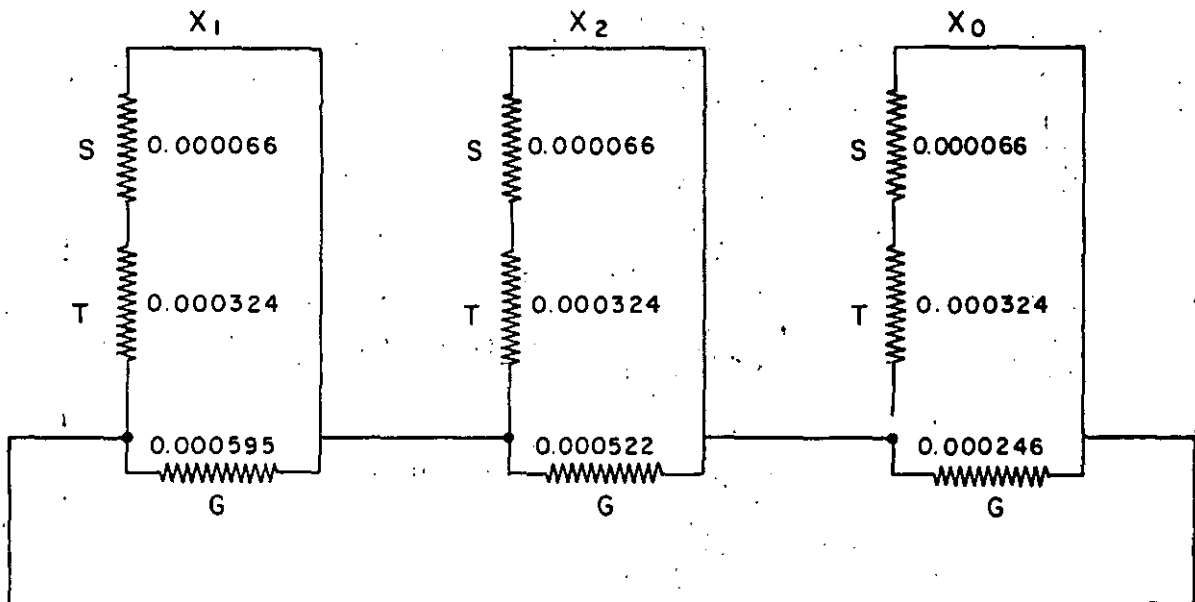
Calibres mínimos para evitar fusión.

DURACION DE LA FALLA EN SEG.	CM / A		
	CABLE	CONEXIONES SOLDADAS.	CONEXIONES MECANICAS.
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

Como se recomendaron juntas soldadas y un tiempo de falla de 0.5-  
seg., se determinará la sección del conductor con la constante 6.5 CM / A lo  
que nos da:

$$42426.2 \text{ A} \times 6.5 \frac{\text{CM}}{\text{A}} = 275770 \text{ CM}$$

c) Corriente de falla a tierra en el lado de 20 Kv.



Cálculo de  $X_{1R}$  ,  $X_{2R}$

$$0,000,066 + 0,000,324^2 = 0,000,39$$

$$X_{1R} = \frac{0.000\ 39 \times 0.000\ 595}{0.000\ 39 + 0.000\ 595} = 0.000\ 2355$$

$$X_{2R} = \frac{0.000\ 39 \times 0.000\ 522}{0.000\ 39 + 0.000\ 522} = 0.000\ 2232$$

$$I_G = \frac{3}{0.000\ 2355 + 0.000\ 2232 + 0.000\ 246} = 4257.13 \%$$

$$I_G = \frac{4257.13 \times 1000}{3 \times 20} = 122\ 892.76 \text{ A}$$

Como ésta corriente es mayor que la calculada en el lado de 230 Kv, será la que tomaremos en cuenta para el cálculo de nuestro sistema de tierra,

Para determinar el valor de la resistividad emplearemos la siguiente fórmula del D F. WENNER,

$$\rho_s = \frac{4 \pi A^2 R}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

en donde

$\rho_s$  = resistividad del terreno en  $\Omega$ -m

R = resistencia por medición en  $\Omega$  (se obtiene con el Megger)

A = distancia entre electrodos ayacentes en M.

B = profundidad de enterramiento de los electrodos en M.

Dado que se carece de datos se tom6 el valor de la resistividad-  
igual que el de la Unidad 3 que fu6 de 6 Ω-m

2.- Dise1o Preliminar de la Red de Tierras

De acuerdo con la tabla anterior se toma 6.5 CM / A para deter-  
minar el calibre

$$S = 6.5 \frac{CM}{A} \times 122892 = 798802$$

Calibre inmediata-  
C.M. mente superior.  
1000 MCM d= 0.029

Residencia de Salamanca pidi6 un calibre de 750 M.C.M. con el --  
prop6sito de utilizar el material existente,

Por lo tanto se tiene un di6metro de 0.0253 m. (0.997").

El di6metro est6 en funci6n con la longitud del conductor (L) y -  
del coeficiente que toma en cuenta conductores de la malla en cuanto a n6me-  
ro, calibre, y disposici6n (km) tenemos que dise1ar un arreglo tal que cum --  
pla con 6stas condiciones.

Tenemos:

$$L = \frac{K_m \times K_i \times \rho_o \times I_{cc} \times \sqrt{t}}{116 + 0.17 \rho_s} \quad (M)$$

En donde:

L : longitud total del conductor enterrado en metros, -  
incluyendo varillas.

Km : coeficiente que toma en cuenta los conductores de la  
malla en cuanto a n6meros, calibre y disposici6n.

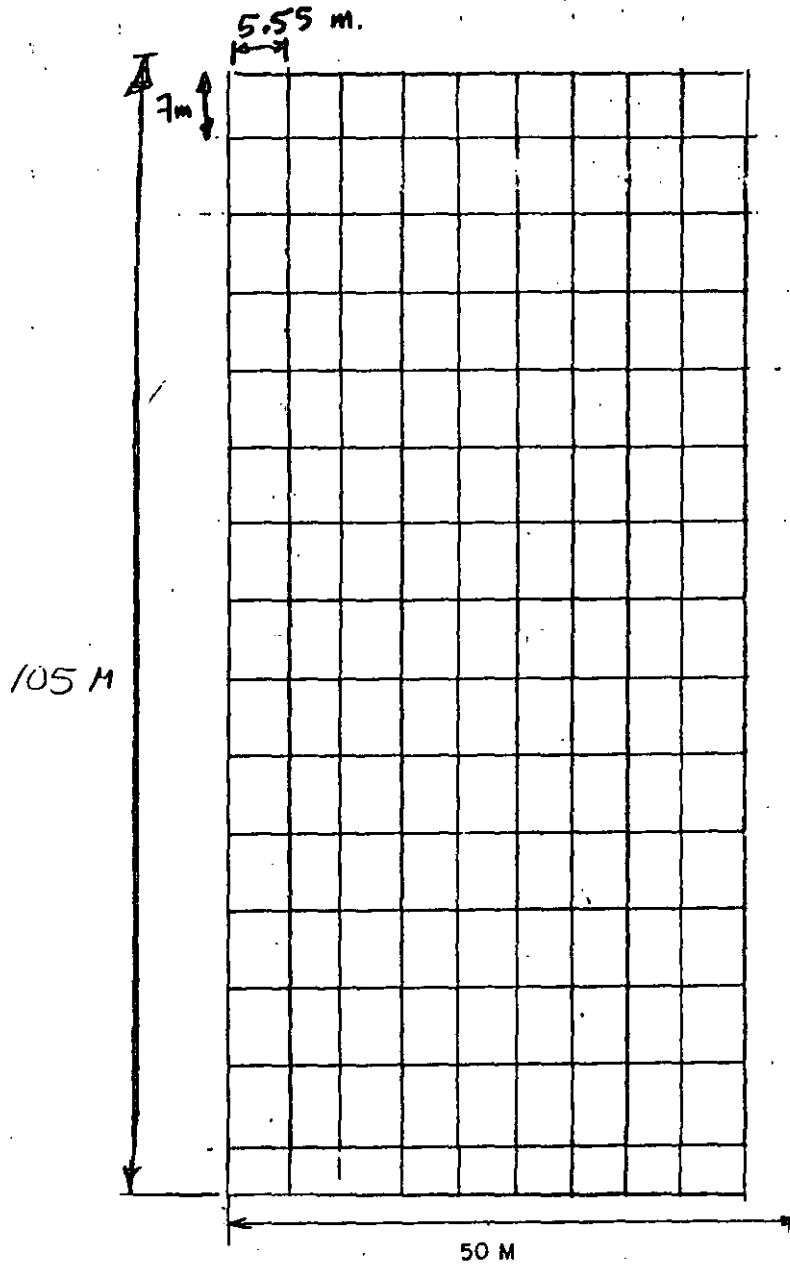
$$K_m = \frac{1}{2\pi} L_n \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} L_n \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{6}\right) \left(\frac{7}{8}\right) \dots$$

En donde:

D : separación entre conductores de la malla en metros ( 8 metros ).

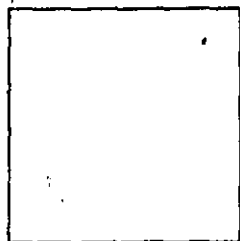
d : diámetro de los conductores que forman la malla = 0.0253 metros

h : profundidad a la que se entierra la red = 0.60 metros.



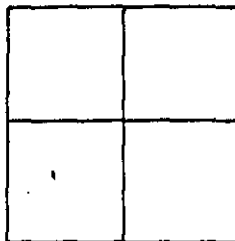
$$\begin{aligned}
 50 \times 16 &= 800 \text{ M} \\
 105 \times 10 &= 1050 \text{ M} \\
 36 \times 3 &= 108 \text{ M} \\
 \hline
 L &= 2000 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$K_i$  : Factor de corrección por irregularidades, toma en cuenta la -  
distribución irregular del flujo de corrientes a tierra.



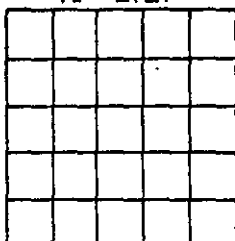
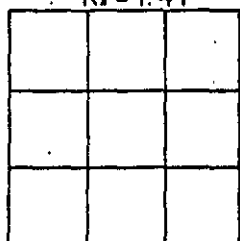
$K_i = 1.00$

$K_i = 1.47$



$K_i = 1.16$

$K_i = 2.21$



Factor  $K_i$  sugerido por  
Walter Koch.

$\rho$  : resistividad promedio del terreno =  $6 \Omega\text{-M}$

$I_{cc}$  : corriente eficaz máxima que fluirá de la red en conjunto, hacia la tierra,  
afectada por el factor de decremento  $D$  y el factor de ampliación  $A$ .

$$I_{cc} = I \times A \times D.$$

Factor de ampliación  $A = 1.00$

Factor de decremento  $D$  :

Duración de la falla en ciclos	$D$
$\frac{1}{2}$	1.65
6	1.25
15	1.10
30 ó más	1.00

$$I_{cc} = 122\,892.76 \times 1 \times 1 = 122\,892.76 \text{ A.}$$

$\rho_s$  = Resistividad del terreno que tocan los pies.

$$= 1000 \Omega\text{-M} \text{ ( para concreto armado )}.$$

Como la malla tiene un espaciamiento uniforme, se puede hacer la determinación empírica del número de términos de la fórmula de Km.

$$n = 16 - 2 = 14 \text{ términos.}$$

Por lo tanto:

$$K_m = 0.1591549 L_n \frac{7^2}{16 (0.6) (0.0253)} + 0.3183099 L_n \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{4}\right) \left(\frac{7}{8}\right) \left(\frac{9}{10}\right) \left(\frac{11}{12}\right) \dots \left(\frac{29}{30}\right)$$

( 14 términos)

$$K_m = 0.1591549 \times 5.5740709 + 0.3183099 L_n \mathbf{0.2889}$$

$$K_m = \mathbf{0.4919}$$

El tiempo  $t = 0.5$  seg.

$$K_i = 2.21$$

Por lo tanto

$$L = \frac{0.4919 \times 2.21 \times 6 \times 122\,892.76 \times \sqrt{0.5}}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = \mathbf{1981} \text{ M.}$$

La longitud obtenida debe ser menor que la indicada en el arreglo

$$\mathbf{1981 < 2000 \text{ m.}}$$

En los cálculos anteriores, podemos ver que el diámetro que se utilizó ( 0.0253 ) el cual corresponde a 750 MCM, cumplen con todas las condiciones para nuestro arreglo en cuanto a longitud y separación entre conductores.

#### 4.- CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRAS.

Para éste cálculo se determinará primero el radio de un círculo cuya superficie sea igual a la superficie total encerrada por la red.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

en donde

r : radio del círculo

A : superficie encerrada por la malla

$$50 \times 105 = 5250 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{5250}{3.14}} = 40.88 \text{ M}$$

Para el cálculo de la resistencia de la red, se aplica la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

└──────────┘ Longitud

Sustituyendo:

$$R = \frac{6}{4 \times 40.88} + \frac{6}{2000} = 0.0397 \text{ (ohms)}$$



## CALCULO DEL MAXIMO AUMENTO DE POTENCIAL DE LA RED EN CASO DE FALLA,

Aplicando la fórmula

$$E = IR$$

y teniendo  $I = 122\ 892.76$  Amp.

$$R = 0.0397 \text{ ohms.}$$

resulta  $E = 122892.76 \times 0.0397 = 4878$  Volts.

## 6.- CALCULO DEL POTENCIAL DE PASO EN EL PISO ADYACENTE A LA RED.

Esté cálculo se hará con la siguiente fórmula

$$E_s = K_s \times K_i \times \rho \times \frac{I}{L}$$

en donde

$E_s$  : Potencial entre los pies de una persona al dar un paso cuando está circulando la corriente máxima de la falla de la red hacia la tierra.

$K_s$  : Coeficiente que considera a que profundidad está enterrada la red, en metros y el número de conductores transversales de la red ( n ).

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots + \frac{1}{15D} \right]$$

hasta el número de espacios transversales.

donde h : profundidad de enterramiento ( 0.60 mts.)

D : espacio longitudinal ( 7 mts.)

Sustituyendo valores

$$K_s = \frac{1}{3.14} \left[ \frac{1}{2 \times 0.60} + \frac{1}{7 + 0.60} + \frac{1}{2 \times 7} + \frac{1}{3 \times 7} \dots \frac{1}{15 \times 7} \right]$$

$$= 0.41256 \quad (0.041256)$$

Por lo tanto

$$E_s = 0.4183176 \times 2.21 \times 6 \times \frac{122892.76}{2000} = 336 \text{ volts.}$$

Voltaje máximo permisible entre pies sobre el piso.

Para concreto armado

$$E'_s = \frac{116 + 0.7 K_s}{\sqrt{t'}} = \frac{116 + 1000}{\sqrt{0.5}} = 1153 \text{ volts.}$$

$$E_s < E'_s$$

si  $E_s > E'_s$  se rediseña la red aumentando (L)

#### 7.- CALCULO DE POTENCIAL ENTRE PISOS Y ELEMENTO CONECTADO A TIERRA.

Si la longitud del cable usado es igual ó mayor que la calculada, se considera que los voltajes entre el piso y el punto tocado con la mano esta dentro de los límites aceptables.

De acuerdo con la figura del terreno, tenemos que (L) = ~~2000~~ Mts.  
(2000 m)

Se incluyen **50** varillas de 3.0 mts. cada una:

Esta longitud es mayor que la calculada, por lo tanto cumple con lo anotado al principio de éste inciso.

#### 8.- Verificación de las condiciones de seguridad.

Para que la red diseñada sea considerada como segura, se deberá cumplir la siguiente fórmula

$$\frac{K_m \times K_i \times \rho \times I_{cc} \times \sqrt{t}}{L} - 0.17 \rho_s < 116$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$\frac{0.4919 \times 2.21 \times 6 \times 122892.76 \times \sqrt{0.5}}{2000} - 0.17 \times 1000 = 113.4$$

$$113.4 < 116$$

Al cumplirse la fórmula podemos decir que la red diseñada está dentro de los límites de seguridad.

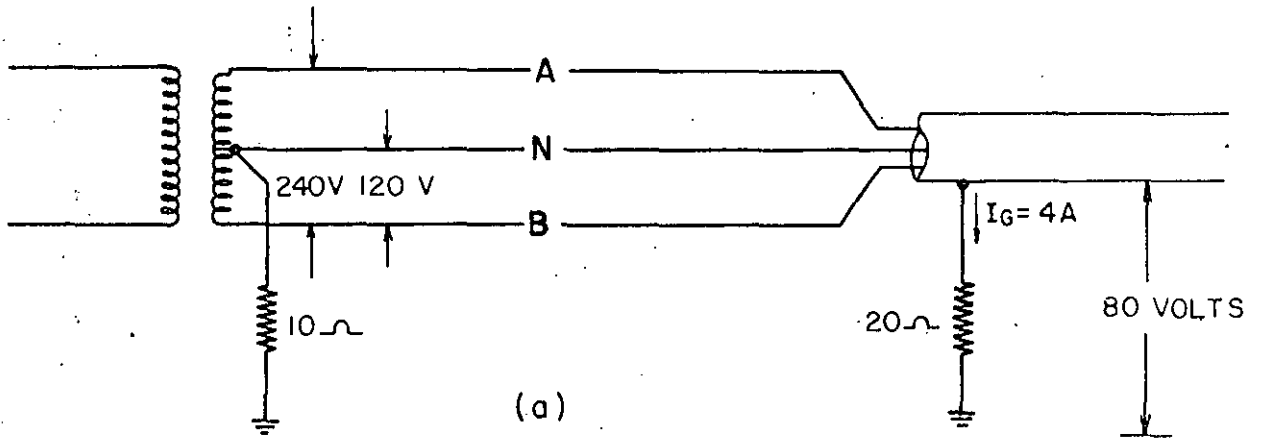
### 7.3 ATERRIZAMIENTO DE EQUIPO

Los propósitos principales por los que las canalizaciones o -- estructuras metálicas que conducen conductos energizados deben estar inter conectadas a un sistema de tierras son:

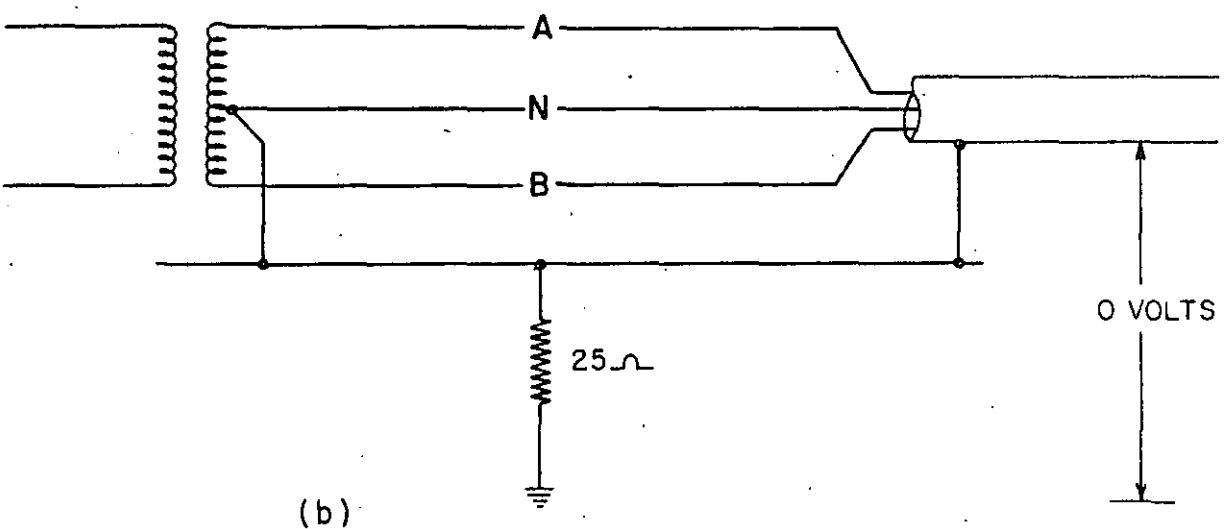
- 1.- Mantener una diferencia de potencial baja entre las partes metálicas cercanas dentro de una determinada área y asegurar que el personal que allí se encuentre no corra peligro de sufrir descargas eléctricas.
- 2.- Proveer de un camino efectivo las corrientes de falla a - tierra las cuales deberán fluir sin evidencia de los esfuer zos térmicos, los cuales son peligrosos y pueden ocasionar incendios de material combustible o por presencia de gases en la atmósfera.

Por lo tanto, Todas las canalizaciones y cubiertas metálicas - de conductores o equipos, armazones de motores, et, Deberán ser puestos a - tierra para satisfacer los requerimientos anteriores.

En caso de una falla de aislamiento a lo largo de un conductor de un circuito eléctrico, entre el conductor energizado y alguna porción - metálica (Tubo, Conduit o Charola), si la parte metálica no fué apropiadamente aterrizada, podría existir un potencial de suficiente magnitud tal que genere daños por descargas eléctricas a quienquiera que toque dichas - partes.



(a)



(b)

La importancia de un circuito metálico continuo de baja resistencia para canalizar las corrientes de falla, se explica en la figura anterior ( A ). En ella se muestra el neutro del transformador conectado a tierra -- por medio de un electrodo que tiene una resistencia de  $10\ \Omega$  a tierra, el tubo conduit está conectado a otro electrodo separado, el cual tiene  $20\ \Omega$  a tierra. Una falla ocurre entre el conductor B y el Conduit

$$\text{Corriente de falla} = \frac{120}{20 + 10} = 4 \text{ A}$$

Caída de potencial de Conduit a tierra será:

$$4 \times 20 = V = 80 \text{ Volts.}$$

En cambio en la figura (B), tanto el neutro del transformador como el tubo conduit, están conectados a una red de tierra común, la que es conectada a tierra a través de un electrodo que tiene  $25\ \Omega$  de resistencia.

Lo anterior no infiere que un potencial de 80 volts necesariamente sea fatal, sino que como ejemplo se ilustra el hecho de una inadecuada puesta a tierra puede ocasionar diferencias de potencial que provocarían daños funestos, sobre todo a las personas.

De acuerdo a estadísticas, los accidentes en la Industria Eléctrica, indican que un gran número de personas se han lesionado como resultado de recibir "SHOCK" eléctrico al entrar en contacto con partes metálicas que normalmente no están energizadas o se suponía que estaban desenergizadas.

Así mismo, uno de cada siete incendios en diferentes establecimientos fueron originados en el sistema eléctrico, por ello, un desarrollo y adopción de prácticas más efectivas en el aterrizamiento de equipo harían disminuir los riesgos por incendio.

" Factor de suma importancia para la seguridad del personal en plantas industriales, es el aterrizamiento adecuado del propio equipo".

" Conecte a una misma red de tierras, todas las partes metálicas por donde pasan conductores energizados, tubo coduit, charolas, cables con armadura metálica, cajas de conexiones, gabinetes, carcasa de motores, del transformador, etc. Todo aquello que encierre equipo eléctrico o sirva para operar eléctricamente un equipo".

#### DEFINICIONES:

Electrödero de Tierra.- es un conductor embebido en tierra, usado para mantener al potencial de tierra, los conductores conectados al electrödero, y para disipar en la tierra todas las corrientes a ella conducidas.

Red de Tierras.- es una red de conductores desnudos enterrados, usada para establecer un potencial uniforme dentro y alrededor de un establecimiento cualquiera. Debe quedar ligado s6lidamente a los electr6dos de tierra.

Conductor de tierra.- es usado para conectar a la red de tierra las carcazas de los equipos, canalizaciones o partes metálicas por donde pasan circuitos energizados.

Cálculo de los conductores de tierra por corriente.- queda determinado por la magnitud de la corriente y el equipo de falla, empleándose las siguientes fórmulas.

Quando el BUS tenga conexiones ensambladas o empalmadas, considerando una temperatura inicial de 26°C

$$A = 10.6 I \sqrt{S}$$

Si las conexiones son soldadas a temp. inicial de 26 °C

$$A = 8.7 I \sqrt{S}$$

A = sección del conductor en CM

I = corriente de falla en A

S = tiempo de flujo en seg.

En sistemas con neutro aterrizado, la corriente y el tiempo de flujo queda determinado por la impedancia. Normalmente el tiempo está entre 10 y 60 seg.



En sistemas no aterrizados la corriente de falla es aproximadamente igual a la corriente de línea a línea.

En sistemas sólidamente aterrizados, la corriente de falla es - aproximadamente igual a la corriente de falla trifásica.

Además de las consideraciones teóricas existen limitaciones -- prácticas que finalmente pueden determinar el tamaño máximo o mínimo de la red de tierra, ya que por esfuerzos mecánicos no debe ser menor a un conductor de No. 2 / 0 AWG y usualmente no es necesario que sea mayor de 500 - MCM, para grandes estaciones, y del No. 4 / 0 AWG, para pequeñas estaciones o plantas industriales.

#### RESISTENCIA DE LA RED A LA TIERRA FISICA.

En grandes estaciones no debe exceder de  $1\Omega$

En pequeñas estaciones o plantas industriales no debe ser mayor de  $5\Omega$

Para clientes residenciales debe aterrizar el neutro a tubería de agua, la cual proporciona una conexión a tierra de baja resistencia (aproximadamente 3) y donde ello no sea posible, utilizar un electródo, pero la resistencia a tierra no exceda 25.

#### Aterrizamiento de equipo en tableros eléctricos.

Deberá ser instalado en los tableros, un BUS de tierra como complemento de los mismos.

Los tableros o estructuras que contengan equipos primarios tales como:

Transformadores de corriente, transformadores de potencial, interruptores de potencia, desconectores, relevadores, instrumentos de medición, et., tal que todos ellos requieren aterrizarse, y que son considerados adecuadamente aterrizados a través de su montaje sobre la estructura, siempre y cuando cada una de éstas estructuras, paneles o soportes metálicos estén conectados al BUS de tierras en forma individual. El BUS de tierra, por lo menos será capaz de conducir un 25 % de la más alta corriente nominal en el tablero, generalmente es usada una barra de cobre de 2" x 1/4", éste BUS por supuesto estará interconectado adecuadamente al BUS general de tierras.

#### Consideraciones Generales.

- 10.- Los conductores de tierra deben protegerse cuando estén expuestos a daño mecánico, deben tener continuidad, desde el equipo por aterrizar hasta el BUS de tierra.
- 20.- El calibre del BUS de tierra en corriente alterna, no será menor que a los que a continuación se indican en la siguiente tabla.

TABLA : Calibre de la red principal de tierras ( para acometidas)

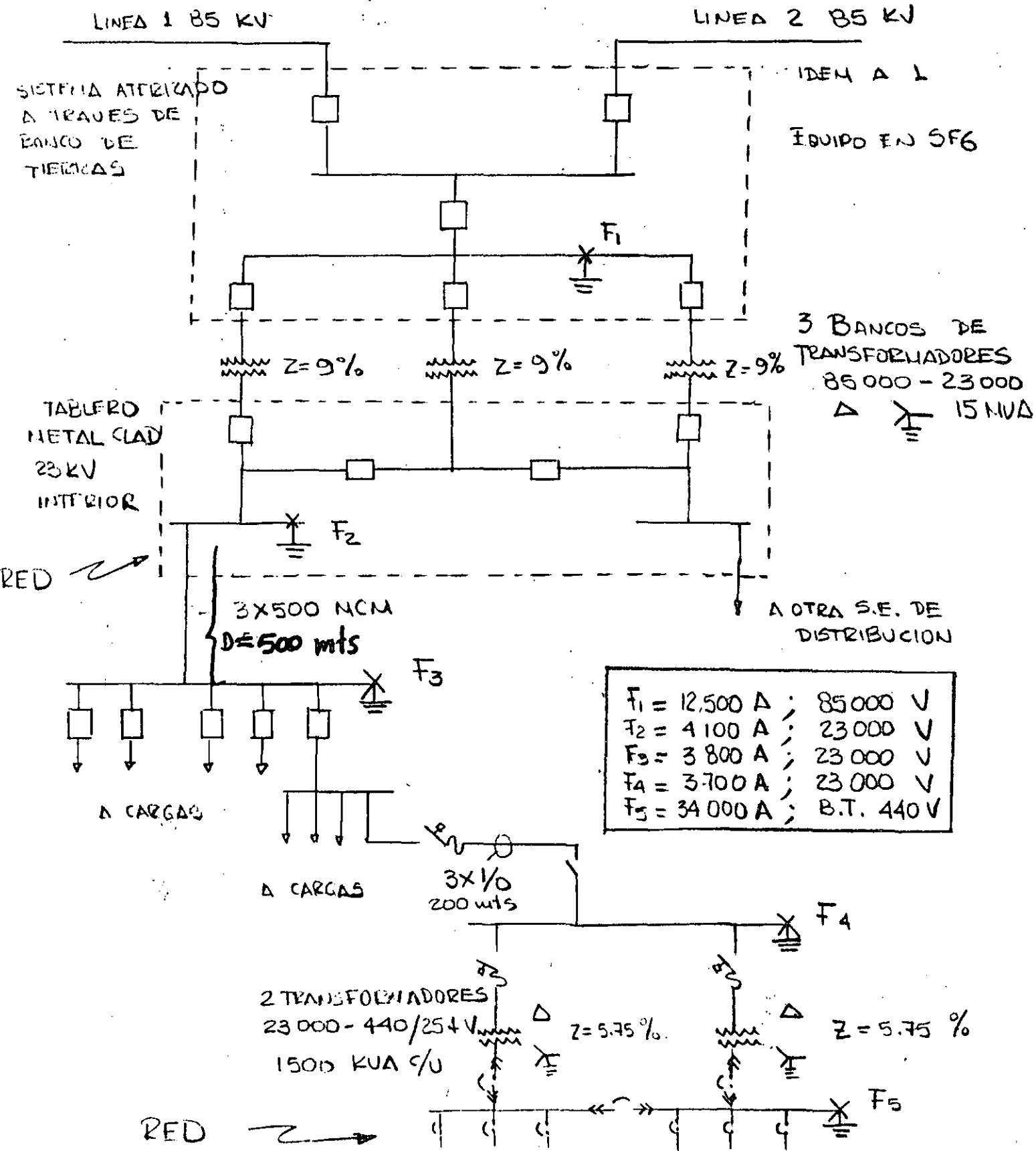
ACOMETIDA * ( AWG O MCM ) MATERIAL COBRE.	BUS DE TIERRA ( AWG O MCM ) MATERIAL COBRE.
2 o menor	8
1 / 0	6
2 / 0 a 3/0	4
4/0 a 350	2
400 a 600	1 / 0
600 a 1100	2 / 0
1100 a más	3 / 0

\* 0 Alimentador Principal.

Calibre de los conductores para puesta a tierra de  
equipos y canalizaciones interiores.

Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección con- tra sobrecorriente ubicado an- tes del equipo, conductor, etc.	Calibre del conductor a tierra. ( AWG o MCM )	
	Cobre	Aluminio
No mayor de (amperes)		
15	14	12
20	14	12
30	12	10
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
400	4	2
600	2	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 MCM
1600	4/0	350 "
2000	250 MCM	400 "
2500	350 "	500 "
3000	400 "	600 "
4000	500 "	800 "
5000	700 "	1000 "
6000	800 "	1200 "

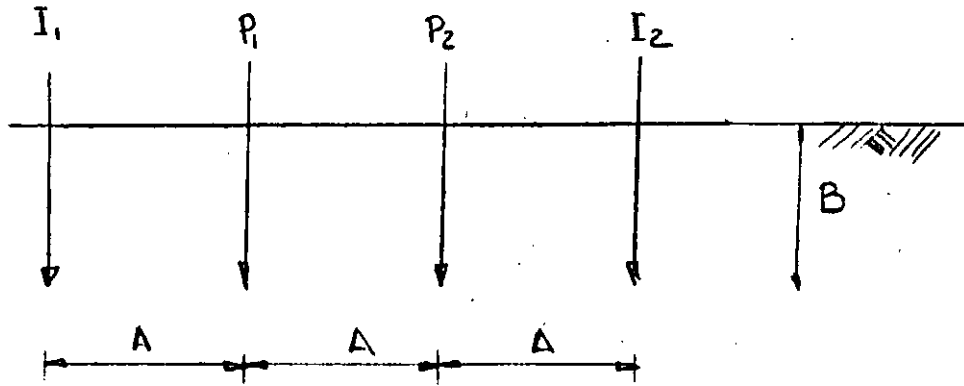
# DIAGRAMA UNIFILAR DEL EJEMPLO DE CALCULO DE LA RED DE TIERRAS



## DATOS GENERALES PARA EL EJEMPLO DE CALCULO DE LA RED DE TIERRAS

- RESISTIVIDAD DEL TERRENO : VER TABLA ANEXA; LOS RESULTADOS DE ELLA PUEDEN GENERALIZARSE PARA TODA LA PLANTA
- RESISTIVIDAD DEL CONCRETO:  $1000 \Omega\text{-mto.}$
- PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DE LA RED :  $0.5 \text{ mto.}$
- CONFIGURACION DE LA RED EN S.E.  $85/23 \text{ KV}$   
(VER PLANO ANEXO) AREA PROPUESTA DE  $350 \text{ m}^2$
- DISTRIBUCION DE PLANTA EN S.E.  $23000/440 \text{ V}$ .  
VER CROWIS ANEXO
- TIEMPO EN QUE SE LIBRA LA FALLA :  $0.5 \text{ seg}$  PARA  $85, 23, \text{ y}$   
B.T (POR SIMPLICIDAD)
- FACTOR DE AMPLIACION DEL SISTEMA :  $1.0$
- SE PROPONE :
  - 1° EVALUAR LA RED PRINCIPAL EN LA S.E. DE  $85/23 \text{ KV}$
  - 2° PROPONER Y EVALUAR UNA RED EN LA S.E. DE  $23000/440 \text{ V}$

## LECTURAS DE RESISTIVIDAD



FORMULA CON LA QUE SE CALCULO LA RESISTIVIDAD

$$\rho = \frac{4 \pi A R}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

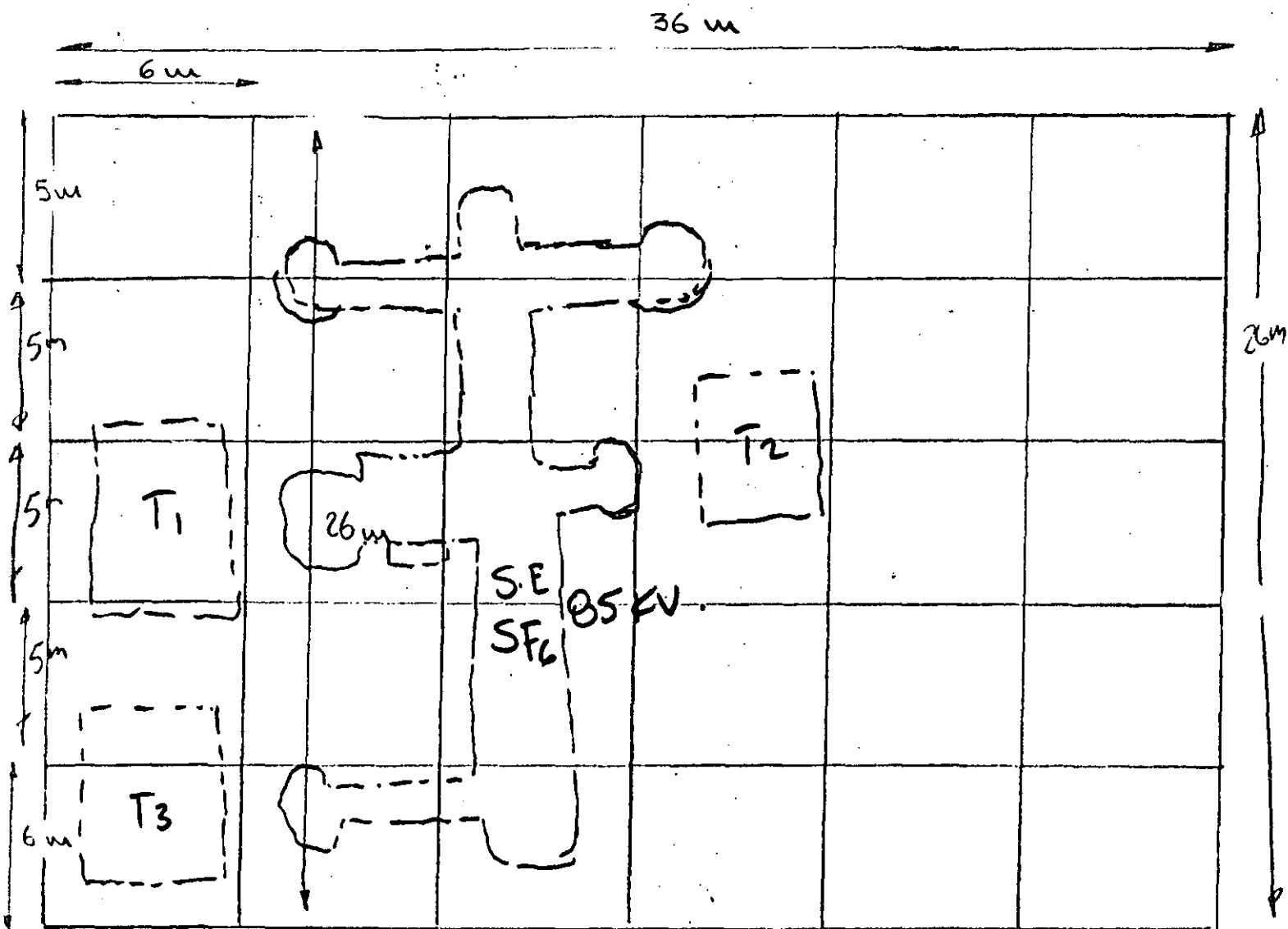
7-49

LEVANTAMIENTO DE RESISTIVIDAD EN LA PLANTA  
DEL EJEMPLO (VER PLANO ADJUNTO PARA UBICACION DE LA LECTURA)

SEPARACION A (m)	PROFUNDIDAD B (m)	LECTURAS Nº 1		LECTURAS Nº 2		LECTURAS Nº 3		LECTURAS Nº 4	
		R $\Omega$	$\rho$ $\Omega/m$	R $\Omega$	$\rho$ $\Omega/m$	R $\Omega$	$\rho$ $\Omega/m$	R $\Omega$	$\rho$ $\Omega/m$
1.0	0.25	1.6	11.05	2.4	16.58	2.2	15.73	2.2	15.73
1.5	0.25	0.8	7.89	1.3	12.82	0.89	8.94	1.0	10.0
2.0	0.25	0.6	7.74	0.77	9.93	0.6	7.82	0.65	8.47
2.5	0.25	0.5	7.989	0.48	7.66	0.4	6.438	0.45	7.24
3.0	0.25	0.4	7.63	0.38	7.24	0.27	5.32	0.33	6.32



7-52



$$\text{AREA} = 36 \times 26 = 936 \text{ m}^2$$

$$\text{LR} = 6 \times 36 + 7 \times 36 + 42 \times 3 = 524 \text{ m}$$

$$L = \frac{K_m K_i P_{s1} I_{cc} \sqrt{t}}{116 + 0.17 P_{s2}}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \left( \frac{7}{8} \right) \dots$$

$$D = 6 \text{ m}$$

$$N^\circ \text{ DE FACTORES} = 7 - 2 = 5$$

$$h = 0.5 \text{ m}$$

$$d = 1.33 \times 10^{-2} \text{ m (CABUE 4/0)}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{6^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \left( \frac{7}{8} \right) \left( \frac{9}{10} \right) \left( \frac{11}{12} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln 338 + \frac{1}{\pi} \ln 0.4511$$

$$K_m = 0.926 - 0.2533 = 0.673$$

SE ASUME UN VALOR DE  $K_i = 2.21$

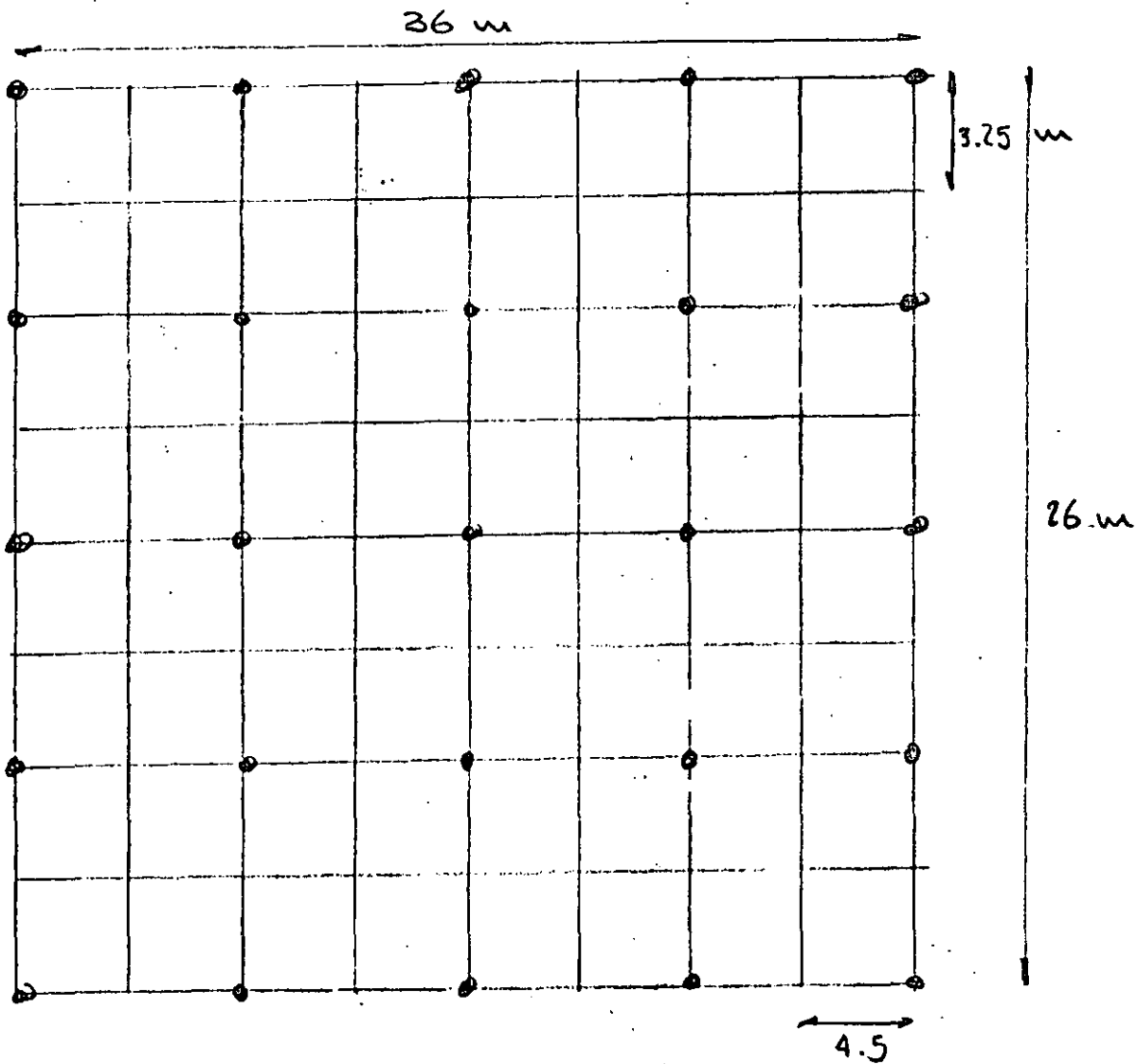
$$L = \frac{(0.673)(2.21) \times (16.58)(12,500)(\sqrt{0.5'})}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = 762 \text{ m}$$

$LR < L \Rightarrow$  LA RED DEBE REDISEÑARSE

SE PROPONE LA SIGUIENTE RED

7-54



$$L_R = 36 \times 9 + 26 \times 9 + 25 \times 3 = 633 \text{ m}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(4.5)^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \left( \frac{7}{8} \right) \left( \frac{9}{10} \right) \left( \frac{11}{12} \right) \left( \frac{13}{14} \right) \left( \frac{15}{16} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln 190.3 + \frac{1}{\pi} \ln 0.3928$$

$$K_m = 0.5379$$

$$K_i = 2.21$$

$$L = \frac{(0.5379)(2.21)(16.58)(12,500)(\sqrt{10.5})}{116 + 0.17 \times 1000} = 609 \text{ m}$$

$$L_R > L \quad (633 > 609 \text{ m})$$

LA RED ES ADECUADA

$$5^\circ \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{936}{\pi}} = 17.26 \text{ m}$$

$$R = \frac{P_{s1}}{4r} + \frac{P_{s1}}{L_R} = \frac{16.58}{4 \times 17.26} + \frac{16.58}{633}$$

$$R = 0.266 \text{ } \Omega$$

$$6^\circ \quad E = I_{cc} \times R = 12500 \times 0.266$$

$$E = 3325 \text{ VOLTS}$$

$$7^\circ \quad F_s = K_s K_i P_{s1} \frac{I_{cc}}{L_R}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2n} + \frac{1}{D+n} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \frac{1}{5D} + \frac{1}{6D} + \frac{1}{7D} + \frac{1}{8D} \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{4.5 + 0.5} + \frac{1}{2 \times 4.5} + \dots + \frac{1}{8 \times 4.5} \right]$$

$$K_s = 0.5035$$

$$K_i = 2.21$$

$$E_s = 0.5035 \times 2.21 \times 16.58 \times \frac{12500}{633}$$

$$E_s = 364.3 \text{ VOLTS}$$

$$E_s' = \frac{116 + 0.7 P_{s2}}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.7 \times 1000}{\sqrt{0.5}} = 1153 \text{ VOLTS}$$

$$E_s < E_s' \quad (\text{LA RED ES SEGURA EN LA PERIFERIA})$$

## B. - SUBESTACION DE DISTRIBUCION 23000/440 V

$$1^{\circ} \quad I_G = 3700 \text{ A} \quad (\text{LADO } 23 \text{ KV})$$

$$I_a = 34000 \text{ A} \quad (\text{LADO } 440 \text{ V})$$

$$2^{\circ} \quad \left. \begin{array}{l} \text{CONEXION SOLDADA} \\ \text{DURACION FALLA } 0.5 \text{ seg.} \end{array} \right\} \text{CM/A} = 6.5$$

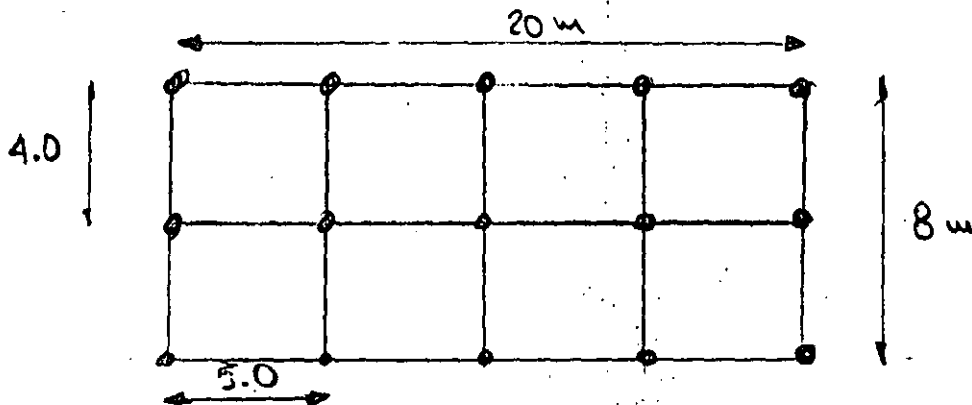
$$S = 6.5 \times 34000 = 221000 \text{ CM} \quad (112.71 \text{ mm}^2)$$

SE PUEDE USAR CONDUCTOR 4/0 (211,600 CM 5% MENOS DE LO CALCULADO)

$$3^{\circ} \quad P_{s1} = 16.58 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$P_{s2} = 1000 \text{ } \Omega\text{-m}$$

4<sup>o</sup> RED SUGERIDA SE EVALUA A CONTINUACION



$$ARFA = 8 \times 20 = 160 \text{ m}^2$$

$$LR = 20 \times 3 + 5 \times 8 + 15 \times 3 = 145 \text{ m}$$

$$L = \frac{K_m K_i P_{s1} I_{cc} \sqrt{T}}{116 + 0.17 P_{s2}}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{6}\right) \left(\frac{7}{8}\right) \dots n \text{ terminos}$$

$$D = 5 \text{ m}$$

$$d = 1.33 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{CABLE } 4/0)$$

$$h = 0.5 \text{ m} \quad (\text{PROFUNDIDAD})$$

$$n = 5 - 2 = 3 \text{ FACTORES}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(5)^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{6}\right) \left(\frac{7}{8}\right)$$

$$K_m = 0.869 + (-0.192)$$

$$K_m = 0.677$$

$$K_i = 1.47$$

$$L = \frac{0.677 \times 1.47 \times 16.58 \times 3700 \sqrt{0.5}}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = 151 \text{ m}$$

SE SUGIERE AGREGAR 3 VARILLAS MAS A LA RED PROPUESTA (SE PODRIAN AGREGAR EN EL PUNTO DE ATERIZAMIENTO DE LOS EQUIPOS), ASI LR SERIA

$$L_R = 145 + 3 \times 3 = 154 \text{ m}$$

Y SE CUMPLIRA QUE :

$$L < L_R \quad (151 < 154 \text{ m})$$

$$5^\circ \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{160}{\pi}} = 7.14 \text{ m}$$

$$R = \frac{P_{51}}{4r} + \frac{P_{51}}{L_R} = \frac{16.58}{4 \times (7.14)} + \frac{16.58}{154}$$



$$R = 0.688 \ \Omega$$

$$6^\circ \quad E = I_{cc} R = 3700 \times 0.688 = 2546 \text{ VOLTS}$$

$$7^\circ \quad E_s = K_s K_i \rho_{s1} \frac{I_{cc}}{L_R}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2n} + \frac{1}{D+n} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{5+0.5} + \frac{1}{2 \times 5} + \frac{1}{3 \times 5} + \frac{1}{4 \times 5} \right]$$

$$K_s = 0.445 \quad K_L = 2.21 \quad (\text{SUGERIDO PARA VOLTAJE DE PASO})$$

$$E_s = 0.445 \times 2.21 \times 16.58 \times \frac{3.700}{154}$$

$$E_s = 392 \text{ VOLTS}$$

$$E_s' = \frac{116 + 0.7 \rho_{s2}}{\sqrt{L}} = \frac{116 + 0.7 \times 1000}{\sqrt{0.5}} =$$

$$E_s' = 1154 \text{ VOLTS}$$

$$E_s < E_s' \quad (392 < 1154 \text{ VOLTS}) \Rightarrow \text{LA RED ES}$$

SEGURA EN LA PERIFERIA



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 8: CALCULOS DE FALLAS

ING. ANDRES D. CHAVEZ SAÑUDO

MAYO, 1985

## 5.- CALCULO DE FALLAS

### 5.1.- FUENTES DE CORRIENTE DE FALLA Y REACTANCIA DE MAQUINAS ROTATORIAS.

LAS FUENTES DE LA CORRIENTE DE C. C., PUEDEN CLASIFICARSE EN 4 CATEGORIAS :

- a) GENERADORES SINCRONOS
- b) MOTORES Y CONDENSADORES SINCRONOS
- c) MOTORES DE INDUCCION
- d) COMPAÑIA SUMINISTRADORA

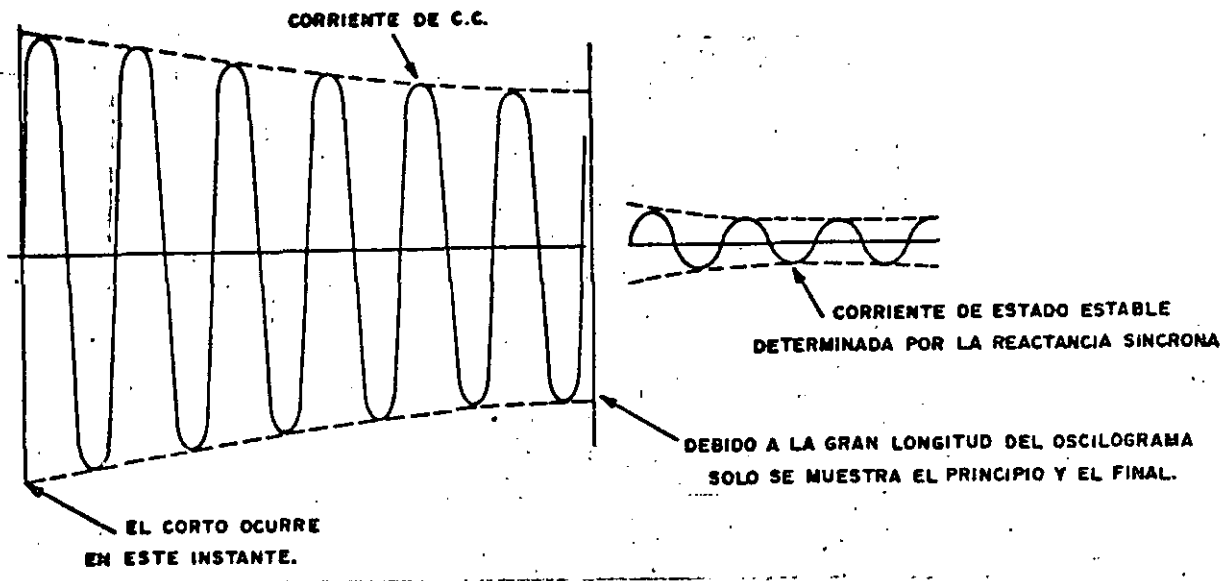
LAS CORRIENTES DE ESTAS FUENTES, QUE ALIMENTAN A LA FALLA, SON LIMITADAS POR LAS IMPEDANCIAS DEL SISTEMA LOS CUALES EN CABLES Y TRANSFORMADORES SON DE UN VALOR FIJO Y EN MOTORES Y GENERADORES SON VARIABLES CON EL TIEMPO..

( $X''d$ ).- REACTANCIA SUBTRANSITORIA.- ES LA REACTANCIA APARENTE DEL ESTATOR EN EL INSTANTE EN QUE SE PRODUCE EL CORTO CIRCUITO Y DETERMINA EL FLUJO DE CORRIENTE DURANTE LOS PRIMEROS CICLOS. (HASTA 0.1 SEG.).

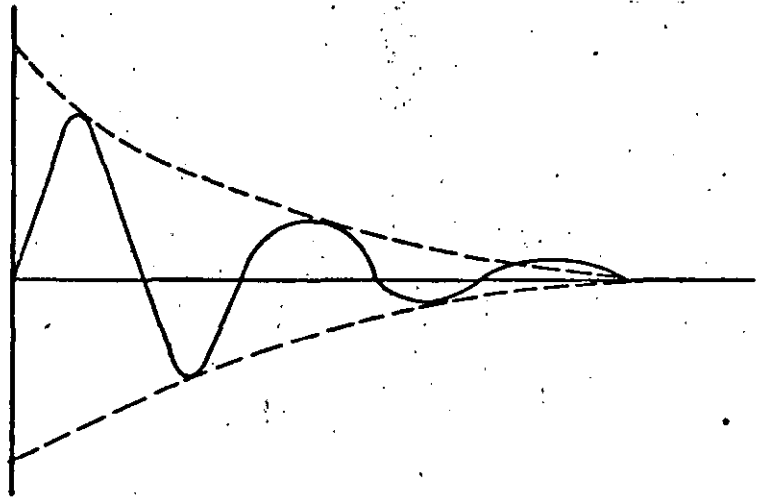
( $X'd$ ).- REACTANCIA TRANSITORIA.- ES LA REACTANCIA INICIAL APARENTE DEL ESTATOR, SI SE DESPRECIAN LOS EFECTOS DE TODOS LOS ARROLLAMIENTOS AMORTIGUADORES Y SE CONSIDERA SOLAMENTE LOS EFECTOS DEL ARROLLAMIENTO DEL CAMPO INDUCTOR. ESTA REACTANCIA DETERMINA LA CORRIENTE QUE CIRCULA DURANTE EL PERIODO SIGUIENTE CUANDO LA  $X''d$  ACTUO. (HASTA  $\frac{1}{2}$  A 2 SEG.)

(X d).-- REACTANCIA SINCRONA.-- ES LA REACTANCIA QUE DETERMINA EL FLUJO DE CORRIENTE CUANDO LAS CONDICIONES SE HAN ESTACIONADO Y ES EFECTIVA -- HASTA ALGUNOS SEGUNDOS DESPUES DE OCURRIR EL C. C.

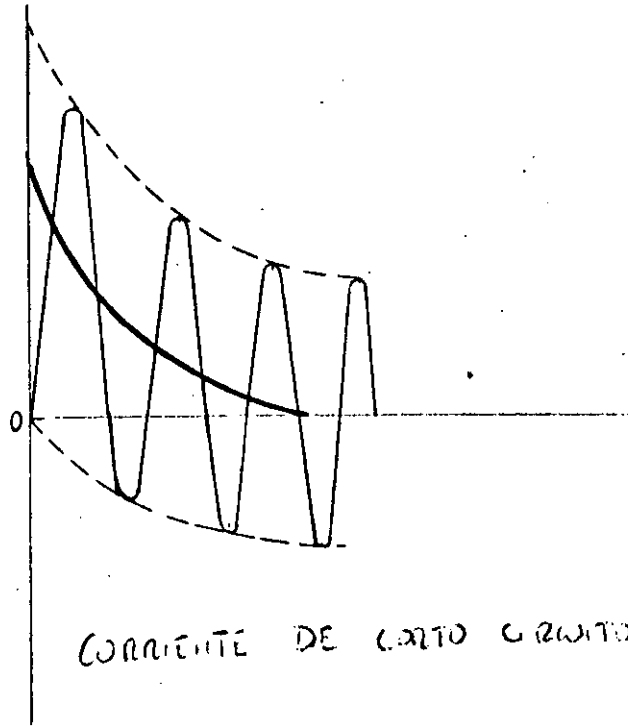
EN LOS GENERADORES Y MOTORES SINCRONOS SE PRESENTAN LOS 3 TIPOS DE REACTANCIAS ANTERIORES, EN EL MOTOR DE INDUCCION SOLAMENTE LA SUBTRANSITORIA Y EN LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA QUE CONTRIBUYE EN FORMA CONSTANTE AL CORTO CIRCUITO SE REPRESENTA SU IMPEDANCIA POR UN VALOR UNICO REFERIDO AL PUNTO DE ACOMETIDA.



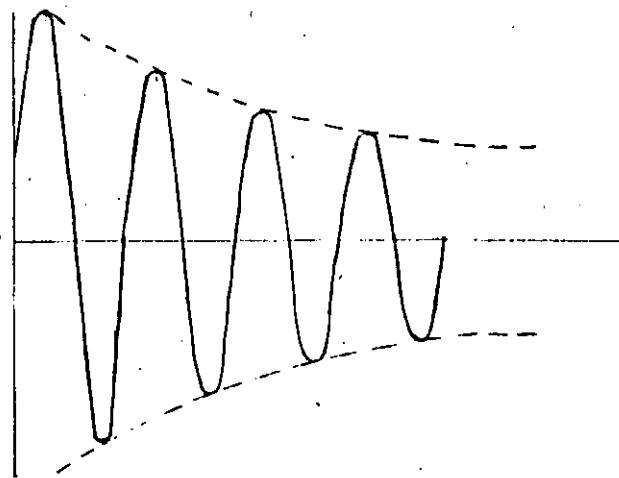
TRAZO DE UN OSCILOGRAMA DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PRODUCIDA POR UN GENERADOR.



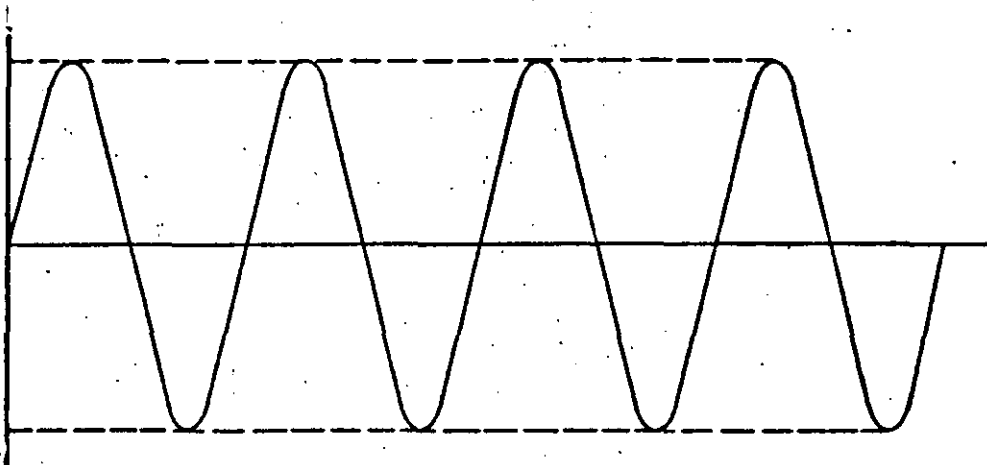
CORRIENTE DE C.C. PROPORCIONADA POR UN MOTOR DE INDUCCION.



CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO TOTAL, ASIMÉTRICA.

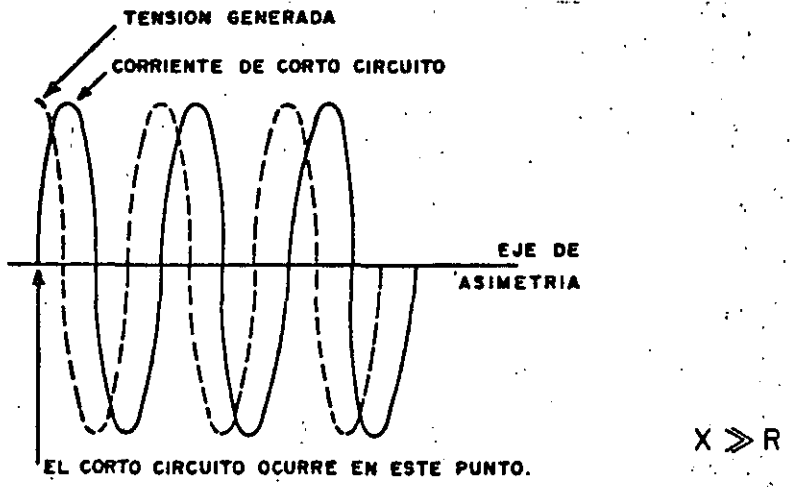


CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO TOTAL, SIMÉTRICA.



CORRIENTE DE C.C. QUE PROPORCIONA LA COMPAÑIA SUMINISTRADORA DE ENERGIA ELECTRICA.

4.2.- SIMETRIA Y ASIMETRIA DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.



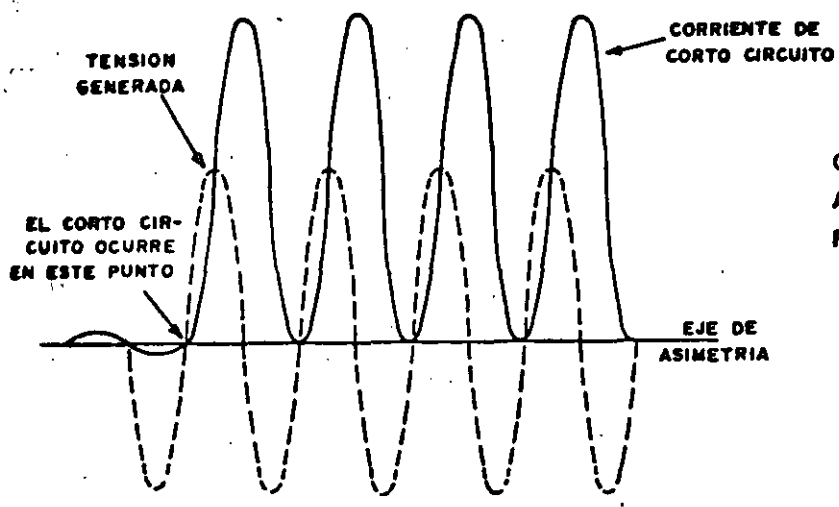
ONDA DE TENSION Y CORRIENTE SIMETRICAS EN UN CIRCUITO DE F.P.=0

EL FACTOR DE POTENCIA DE C. C. SE DETERMINA POR LA RELACION ENTRE RESISTENCIA Y REACTANCIA EXISTENTE EN LA TRAYECTORIA DEL C. C.

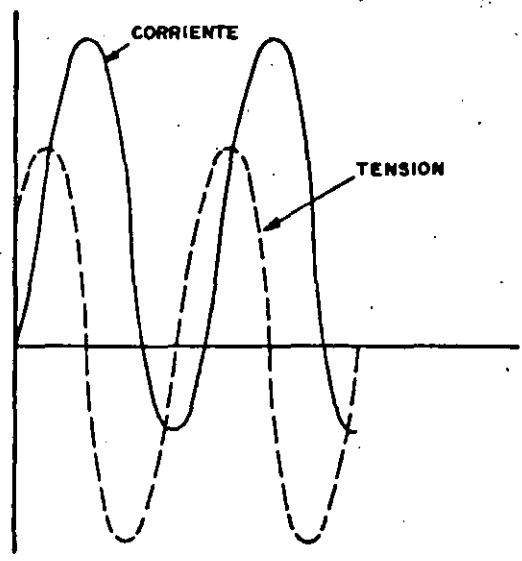
EN LA FIGURA EL C. C. OCURRE EN EL INSTANTE DEL VALOR MAXIMO DE LA ONDA DE TENSION Y LA CORRIENTE DE C. C. INICIA DE CERO, DANDO ORIGEN A UNA ONDA TOTALMENTE SIMETRICA.

SI EL C. C. OCURRE CUANDO LA ONDA DE TENSION ESTA EN CERO, SE PRESENTA LA MAXIMA ASIMETRIA EN LA ONDA DE CORRIENTE LA CUAL SE ATRASA 90° RESPECTO A LA DEL VOLTAJE.

SI EL C. C. OCURRE EN CUALQUIER OTRO PUNTO ( ESTO ES LO MAS COMUN ), EXCEPTO EN LOS ANALIZADOS, HABRA UN DESPLAZAMIENTO DE LA ONDA DE CORRIENTE QUE DEFENDERA DEL PUNTO EN QUE OCURRA LA FALLA EN LA ONDA DE TENSION.



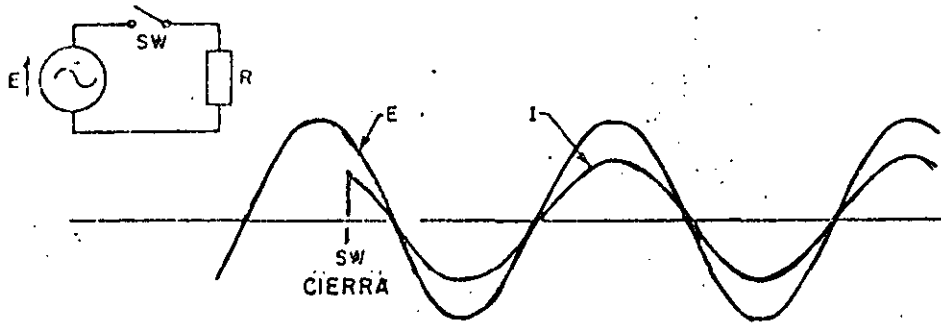
ONDA DE TENSION Y CORRIENTE ASIMETRICAS EN UN CIRCUITO DE F.P. = 0.  $X \gg R$



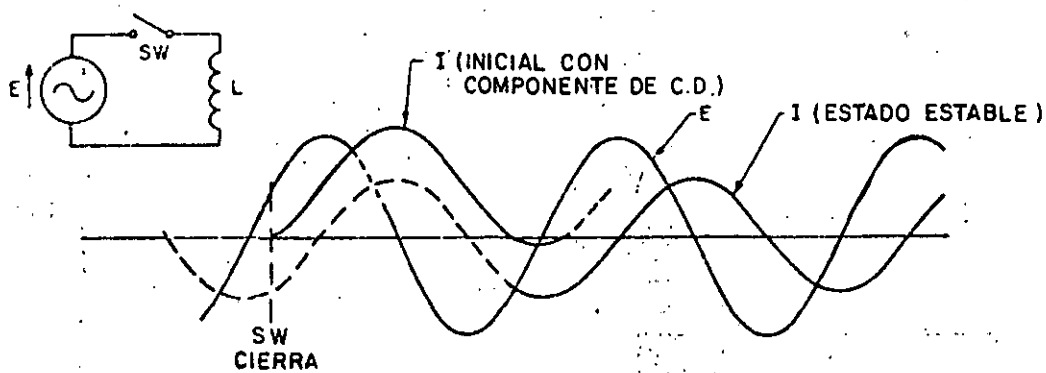
EL CORTO CIRCUITO OCURRE EN ALGUN PUNTO ENTRE EL VALOR CERO Y EL MAXIMO DE LA ONDA DE TENSION. F.P. = 0  $X \gg R$



LA EXPLICACION DE LO ANTERIOR SE PUEDE ENCONTRAR EN LAS SIGUIENTES FIGURAS :



TRANSITORIO POR CONMUTACION R



TRANSITORIO POR CONMUTACION L

EN EL CASO DE UNA RESISTENCIA "R", EL CIERRE DEL SWITCH LLEVA A LA CORRIENTE A ASUMIR INMEDIATAMENTE EL VALOR QUE EXISTIRA EN EL ESTADO ESTABLE.

EN EL CASO DE LA INDUCTANCIA "L", EL FENOMENO SE COMPRENDE MEJOR MEDIANTE LA ECUACION :

$$E = L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{E}{L}$$

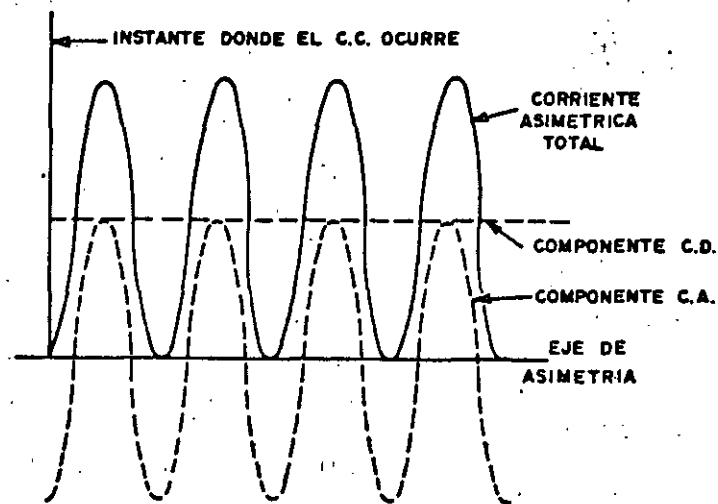
ESTA EXPRESION NOS DICE QUE LA APLICACION DE UNA F.E.M. (VOLTAJE) A UNA INDUCTANCIA, CREA UNA RAZON DE CAMBIO DE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE CON RESPECTO AL TIEMPO, CON PENDIENTE  $E/L$ .

EN EL EXTREMO DERECHO DE LA FIGURA ANTERIOR, APARECE LA CORRIENTE DE ESTADO ESTABLE. ESTA ESTA ATIZADA  $90^\circ$  CON RESPECTO AL VOLTAJE Y TIENE, LA MAXIMA PENDIENTE POSITIVA CUANDO LA TENSION ESTA EN SU MAXIMO VALOR POSITIVO; TIENE UN VALOR FIJO CUANDO LA TENSION ES CERO. REGRESANDO LA CURVA AL MOMENTO DEL CIERRE DEL INTERRUPTOR (LINEA PUNTEADA) NOTESE QUE LA CORRIENTE DEBERIA ESTAR A UN 90% DEL PICO NEGATIVO, PERO COMO ES SWITCH ESTA ABIERTO, ESTA CORRIENTE PARTIRA DE CERO AL CERRAR Y DESARROLLARA LA MISMA PENDIENTE QUE TENDRIA EN SU ESTADO ESTABLE (LINEA LLENA DE LA FIGURA) Y ESTO SE LOGRA DESPLAZANDO LA CURVA HACIA ARRIBA, COMO SI TUVIERA UNA COMPONENTE DE C.D. Y UNA DE C.A.

#### 4.2.1.- COMPONENTE DE C. D. DE LAS CORRIENTES DE C. C. ASIMETRICAS

LA DIFICULTAD PARA ANALIZARLAS, HA LLEVADO A DESCOMPONERLAS EN DOS COMPONENTES SIMPLES :

- a) COMPONENTE DE C. A. SIMETRICA
- b) COMPONENTE DE C. D.

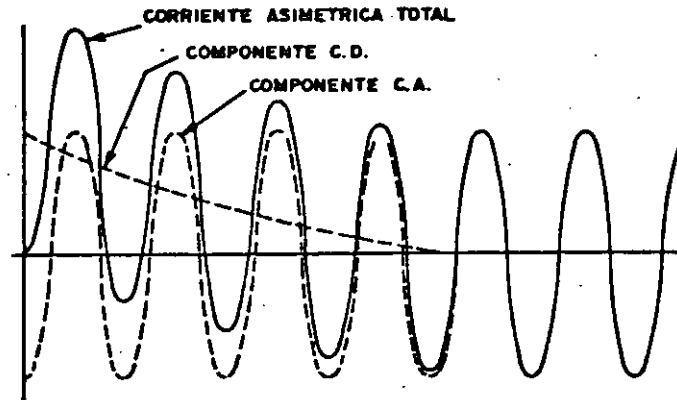


COMPONENTES DE LA CORRIENTE MOSTRADA EN LA FIGURA 5.

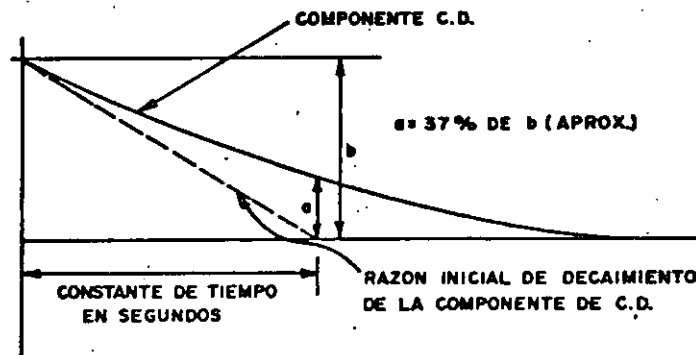
LA MAGNITUD INICIAL DE LA COMPONENTE DE C. D., VARIA DESDE CERO A UN MAXIMO VALOR IGUAL AL PICO DE LA COMPONENTE SIMETRICA DE C. A., DEPENDIENDO DEL INSTANTE EN QUE OCURRE EL C. C.

4.2.2.- RELACION  $\frac{X}{R}$  .- ESTA RELACION, MEDIDA A LO LARGO DE LA TRAYECTORIA DEL C. C., AFECTA EL COMPORTAMIENTO DE LA COMPONENTE DE C. D., SI  $\frac{X}{R} = \infty$ , LA COMPONENTE DE C. D. NUNCA DECAERIA, SI  $\frac{X}{R} = 0$ , ENTONCES LA CAIDA ES INSTANTANEA. CUALQUIER OTRO VALOR PUEDE PRESENTARSE COMO SE OBSERVA EN LA FIG. 9.

LA MAYORIA DE LOS SISTEMAS TIENEN UNA CONSTANTE DE TIEMPO Y ES EL --  
 TIEMPO REQUERIDO POR LA COMPONENTE DE C. D. PARA REDUCIRSE APROXIMADAMENTE A UN 37 % DE SU VALOR ORIGINAL.



OSCILOGRAMA MOSTRANDO EL DECAIMIENTO DE LA COMPONENTE DE C.D. Y SU EFECTO EN LA ASIMETRIA DE CORRIENTE.



ILUSTRACION GRAFICA DE LA CONSTANTE DE TIEMPO.

#### 4.2.3.- FACTORES DE MULTIPLICACION

PARA CALCULAR LA COMPONENTE DE C. D., SE HAN DESARROLLADO METODOS SIMPLIFICADOS MEDIANTE EL USO DE FACTORES DE MULTIPLICACION QUE CONVIERTEN EL VALOR RMS DE CORRIENTE ALTERNA SIMETRICA A VALORES RMS DE UNA ONDA ASIMETRICA QUE INCLUYE LA COMPONENTE DE C. D.

LOS FACTORES DE MULTIPLICACION PUEDEN TOMARSE DE LA SIGUIENTE GRAFICA, OBSERVESE QUE EL MAXIMO VALOR QUE PUEDE ALCANZAR LA COMPONENTE DE C. D. ES 1.732 VECES EL VALOR RMS DE LA COMPONENTE DE C. A.

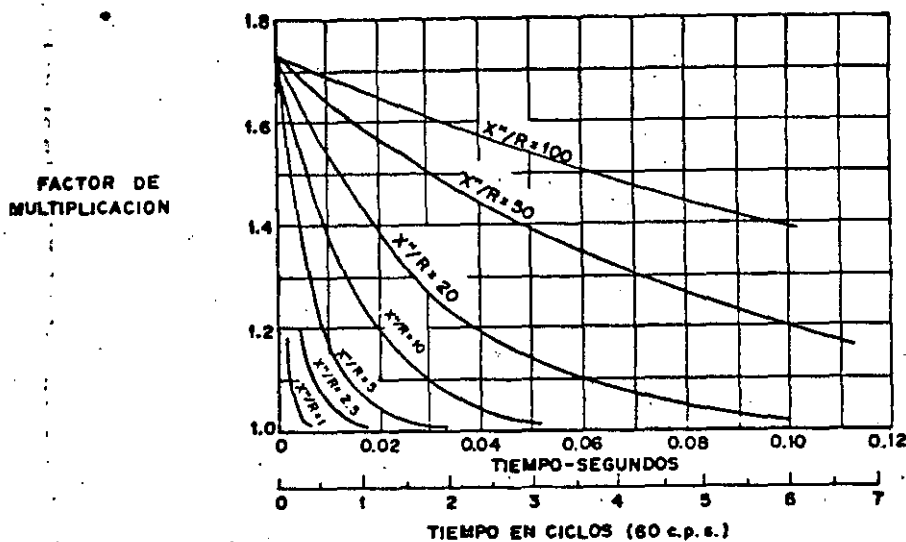


FIG. 9

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA EL DECAIMIENTO DE LA COMPONENTE DE C.D.

TABLA 1 REACTANCIAS DE MAQUINAS Y FACTORES DE MULTIPLICACION USADOS EN CALCULOS SIMPLIFICADOS DE LA CAPACIDAD NOMINAL DE CORTO CIRCUITO EN EQUIPO.

TIPO DE DESIGNACION NOMINAL DE CORTO CIRCUITO Y CLASE DE EQUIPO	REACTANCIAS DE MAQUINA A USAR			FACTORES DE MULTIPLICACION A SER APLICADOS AL VALOR SIMETRICO CALCULADO	
	GENERADOR SINCRONO	MOTOR SINCRONO	MOTOR DE INDUCCION	CASO GENERAL #	CASO ESPECIAL #
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA CON LOS SIGUIENTES TIEMPOS DE INTERRUPCION. 8 CICLOS 5 CICLOS 3 CICLOS 2 CICLOS	SUBTRANSITORIA	TRANSITORIA	NULA	1.0	1.1
	SUBTRANSITORIA	TRANSITORIA	NULA	1.1	1.2
	SUBTRANSITORIA	TRANSITORIA	NULA	1.2	1.3
	SUBTRANSITORIA	TRANSITORIA	NULA	1.4	1.5
CAPACIDAD MOMENTANEA PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	CASO GENERAL 1.6 **	CASO ESPECIAL 1.5 **
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA EN BAJA TENSION.	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	1.0	
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	1.0	
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA FUSIBLES (ARRIBA DE 1500 VOLTS)	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	CASO GENERAL 1.6 ***	CASO ESPECIAL 1.2 ***
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA FUSIBLES EN BAJA TENSION (600 VOLTS O MENOS)	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	1.0	
CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA COMBINACIONES ARRANCADOR FUSIBLE O TERMOMAGNETICO PARA MOTORES	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	SUBTRANSITORIA	1.25	

NOTAS— EL VALOR DE CORRIENTE SIMETRICA AL QUE SE APLICA AL MULTIPLICADOR DEBE SER RMS

\* USE LA COLUMNA CASO ESPECIAL SOLO SI EL VALOR SIMETRICO EXCEDE 500 MVA Y SI EL CIRCUITO ES ALIMENTADO DIRECTAMENTE POR GENERADORES

\*\* USE LA COLUMNA CASO ESPECIAL SI LA TENSION DE OPERACION ES 500V O MENOS Y SI EL CIRCUITO NO ES ALIMENTADO DIRECTAMENTE POR GENERADORES

\*\*\* USE LA COLUMNA CASO ESPECIAL SI LA TENSION DE OPERACION ES 1500 O MENOR Y SI LOS FUSIBLES NO SON DEL TIPO LIMITADOR DE CORRIENTE Y SI LA RELACION X/R DEL SUMINISTRO ES MENOR A 4

PARA CONSULTAR ACERCA DE LOS FACTORES DE MULTIPLICACION Y LAS NORMAS PARA LA APLICACION DE INTERRUPTORES SE PUEDEN CONSULTAR LAS SIGUIENTES NORMAS :

ANSI/IEEE C 37.13. 1980, "IEEE STANDARD FOR LOW VOLTAGE AC POWER CIRCUIT BREAKERS USED IN ENCLOSURES"

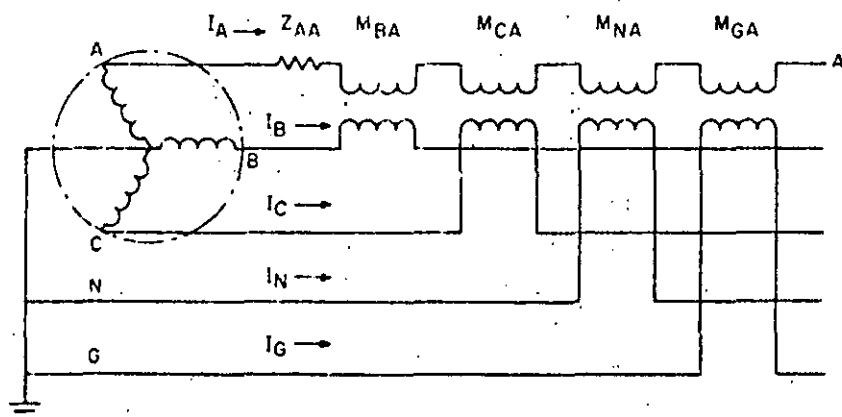
ANSI/IEEE C 37.010. 1979, "IEEE APPLICATION GUIDE FOR AC HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A SYMMETRICAL CURRENT BASIS (CONSOLIDATED EDITION)"

ANSI/IEEE C 37.5 - 1979 "IEEE GUIDE FOR CALCULATION OF FAULT CURRENTS FOR APPLICATION OF AC - HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A TOTAL CURRENT BASIS"

ANSI C 37.41 - 1969 (R-1974) "DESIGN TESTS FOR DISTRIBUTION CUT OUTS AND FUSE LINKS, SECONDARY FUSES, DISTRIBUTION ENCLOSED SINGLE POLE AIR SWITCHES, POWER FUSES, FUSE DISCONNECTING SWITCHES AND ACCESSORIES".

## ANALISIS DE CIRCUITOS DESBALANCEADOS

UNA APROXIMACION PARA UN PROCEDIMIENTO ADECUADO PARA CALCULAR LA CORRIENTE DE LA FASE "A" EN UN SISTEMA TRIFASICO SE OBSERVA EN LA FIGURA SIGUIENTE:



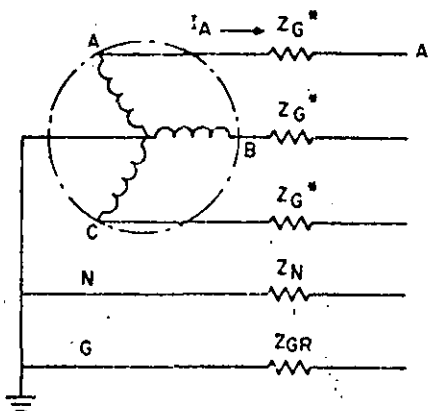
$$E_A - E_{A'} = I_A Z_{AA} + I_B M_{BA} + I_C M_{CA} + I_N M_{NA} + I_G M_{GA}$$

**CIRCUITO TRIFASICO, 4 HILOS, CARGA DESBALANCEADA**

PARA CADA CIRCUITO FISICO CONDUCTOR LA CAIDA DE TENSION TOTAL SE REPRESENTA COMO LA SUMA DE LAS CAIDAS DE TENSION POR LA IMPEDANCIA PROPIA MAS LA CAUSADA POR LAS IMPEDANCIAS MUTUAS DE LA FASE CON LOS OTROS ELEMENTOS (FASES B, C; NEUTRO Y TIERRA)

CON UN SISTEMA SIMETRICO TRABAJANDO CON CARGAS SIMETRICAS BALANCEADAS, ESTE PROBLEMA SE REDUCE, PUESTO QUE LO QUE LE SUCEDE A LA FASE "A", LE SUCEDE A LA "B" Y A LA "C" SOLO CON DESPLAZAMIENTOS ENTRE SI DE  $120^\circ$ .

ASI LA IMPEDANCIA APARENTE ES IGUAL Y UNICA, Y ES LA MONOFASICA DE LINEA A NEUTRO, TAL COMO APARECE EN LA FIGURA SIGUIENTE :



#### IMPEDANCIAS PARA CADA SECUENCIA SIMETRICA

SECUENCIA POSITIVA  $Z_{01}$

SECUENCIA NEGATIVA  $Z_{02}$

SECUENCIA CERO  $Z_{00} + 3Z_{GR}^*$

\* BASADA EN CORRIENTE CERO EN EL CONDUCTOR N.

$$E_A - E_{A'} = I_{A1} Z_{01} + I_{A2} Z_{02} + I_{A0} (Z_{00} + 3Z_{GR})$$

#### CIRCUITO TRIFASICO, 4 HILOS, CON CARGA SIMETRICA BALANCEADA

LO ANTERIOR ES VALIDO, REPETIMOS, PARA CUANDO SE TIENE UN CIRCUITO BALANCEADO; EL CORTO CIRCUITO TRIFASICO CUMPLE CON ESTA CONDICION, NO SIENDO EL CASO DE OTRO TIPO DE FALLA -



COMO EL DE LINIA A LINIA O EL DE LINIA A TIERRA

PARA ESTOS PROBLEMAS DE CORTO CIRCUITO DESBALANCEADOS, USAMOS EL METODO DE COMPONENTES SIMETRICAS

— METODOS DE COMPONENTES SIMETRICAS —

ESTE CONCEPTO SE BASA EN QUE CUALQUIER CONDICION CONCEBIBLE DE DESBALANCEO PUEDE SER CORRECTAMENTE SINTETIZADA POR EL USO DE VARIOS SISTEMAS SIMETRICOS BALANCEADOS APROPIADOS EN MAGNITUD Y EN ANGULO DE FASE.

EN UN SISTEMA TRIFASICO, CON SEPARACION DE FASES DE  $120^\circ$ , EXISTEN TRES POSIBLES SISTEMAS SIMETRICOS Y PUEDEN SER IDENTIFICADOS EN LA FIGURA SIGUIENTE:

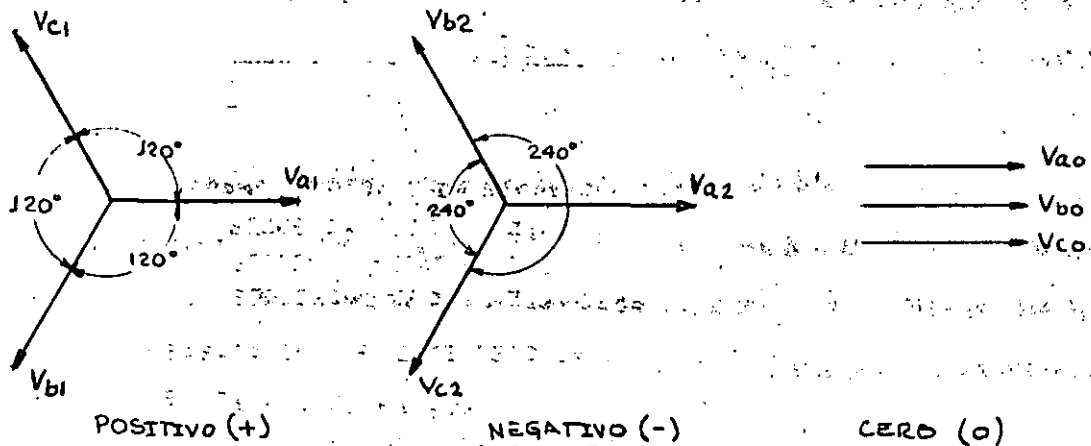


FIGURA COMPONENTES DE SECUENCIA DE VOLTAJES

ESTOS SISTEMAS BALANCEADOS SIMÉTRICOS SON EL DE SECUENCIA POSITIVA, SECUENCIA NEGATIVA Y SECUENCIA CERO. ESTOS SISTEMAS PUEDEN REFERIRSE EN TÉRMINOS DE CORRIENTE, VOLTAJE E IMPEDANCIA.

LOS COMPONENTES DE SECUENCIA POSITIVA CONSISTEN EN TRES FASORES IGUALES EN MAGNITUD, DEFASADOS  $120^\circ$ , CON LA MISMA SECUENCIA DE FASES O ROTACION QUE LA DE LOS GENERADORES FUENTE. SE ASUME QUE LA SECUENCIA POSITIVA ES ABC, PERO SERÁ SECUENCIA POSITIVA ACB EN UN SISTEMA DE GENERACION ACB. LOS COMPONENTES DE SECUENCIA NEGATIVA SON 3 FASORES IGUALES EN MAGNITUD, DESPLAZADOS  $120^\circ$ , CON UNA SECUENCIA DE FASES OPUESTA A LA SECUENCIA NEGATIVA. LOS COMPONENTES DE SECUENCIA CERO CONSISTEN EN 3 FASORES IGUALES EN MAGNITUD Y EN FASE COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA ANTERIOR.

EL SUBÍNDICE 1 SE USA PARA IDENTIFICAR UN COMPONENTE DE SECUENCIA POSITIVA, EL SUBÍNDICE 2 PARA UN COMPONENTE DE SECUENCIA NEGATIVA Y EL 0 PARA LA SECUENCIA CERO.

DADO QUE LOS TRES FASORES EN CUALQUIER SECUENCIA SON SIEMPRE IGUALES EN MAGNITUD, LOS TRES GRUPOS PUEDEN EXPRESARSE EN TÉRMINOS DE UN FASOR. POR CONVENIENCIA, SE PUEDE USAR EL FASOR DE LA FASE "A"

SECUENCIA POSITIVA	SECUENCIA NEGATIVA	SECUENCIA CERO
$\dot{V}_{a1} = \dot{V}_{a1}$	$\dot{V}_{a2} = \dot{V}_{a2}$	$\dot{V}_{a0} = \dot{V}_{a0}$
$\dot{V}_{b1} = a^2 \dot{V}_{a1}$	$\dot{V}_{b2} = a \dot{V}_{a2}$	$\dot{V}_{b0} = \dot{V}_{a0}$
$\dot{V}_{c1} = a \dot{V}_{a1}$	$\dot{V}_{c2} = a^2 \dot{V}_{a2}$	$\dot{V}_{c0} = \dot{V}_{a0}$

LOS COEFICIENTES  $a$  Y  $a^2$  SON FASORES UNITARIOS QUE CUANDO SE MULTIPLICAN CON UN FASOR, CAUSAN UN DESPLAZAMIENTO ANGULAR DE  $120^\circ$  Y  $240^\circ$  RESPECTIVAMENTE.

ASI :

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j 0.866 \dots \textcircled{1}$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0.5 - j 0.866 \dots \textcircled{2}$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ \dots \textcircled{3}$$

PUEDEN DERIVARSE DE LAS ECUACIONES ANTERIORES

ALGUNAS COMBINACIONES UTILES :

$$1 + a + a^2 = 0 \dots \textcircled{4}$$

$$1 - a^2 = \sqrt{3} \angle 30^\circ \dots \textcircled{5}$$

$$a^2 - 1 = \sqrt{3} \angle 210^\circ \dots \textcircled{5}$$

$$a - 1 = \sqrt{3} \angle 150^\circ \dots \textcircled{6}$$

$$1 - a = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dots \textcircled{6}$$

$$a^2 - a = \sqrt{3} \angle 270^\circ \dots \textcircled{7}$$

$$a - a^2 = \sqrt{3} \angle 90^\circ \dots \textcircled{7}$$

CUALQUIER SISTEMA TRIFASICO DE FASORES SERA SIEMPRE LA SUMA DE LOS TRES COMPONENTES :

$$\dot{V}_a = \dot{V}_{a1} + \dot{V}_{a2} + \dot{V}_{a0} \dots\dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_b &= \dot{V}_{b1} + \dot{V}_{b2} + \dot{V}_{b0} \\ &= a^2 \dot{V}_{a1} + a \dot{V}_{a2} + \dot{V}_{a0} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_c &= \dot{V}_{c1} + \dot{V}_{c2} + \dot{V}_{c0} \\ &= a \dot{V}_{a1} + a^2 \dot{V}_{a2} + \dot{V}_{a0} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

ADEMAS :

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_0 \dots\dots\dots (11)$$

$$\dot{I}_b = a^2 \dot{I}_{a1} + a \dot{I}_{a2} + \dot{I}_0 \dots\dots\dots (12)$$

$$\dot{I}_c = a \dot{I}_{a1} + a^2 \dot{I}_{a2} + \dot{I}_0 \dots\dots\dots (13)$$

RESOLVIENDO LAS ECUACIONES 8, 9, 10, 11, 12 y 13 SE TIENE QUE :

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_{a1} &= \frac{1}{3} (\dot{V}_a + a \dot{V}_b + a^2 \dot{V}_c) \\ \dot{I}_{a1} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_a + a \dot{I}_b + a^2 \dot{I}_c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_{a2} &= \frac{1}{3} (\dot{V}_a + a^2 \dot{V}_b + a \dot{V}_c) \\ \dot{I}_{a2} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_a + a^2 \dot{I}_b + a \dot{I}_c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_0 &= \frac{1}{3} (\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c) \\ \dot{I}_0 &= \frac{1}{3} (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

UN COMPONENTE DE SECUENCIA NO PUEDE EXISTIR SOLO EN UNA FASE. SI POR CALCULO O POR MEDICION SE DEDUCE QUE EXISTE CUALQUIER COMPONENTE EN UNA FASE, EXISTIRA EN LAS TRES FASES.

## SECUENCIAS EN UN SISTEMA TRIFASICO DE POTENCIA

EN CUALQUIER PARTE BALANCEADA O SIMETRICA DE UN SISTEMA :

- LAS CORRIENTES DE SECUENCIA POSITIVA PRODUCEN SOLO CAIDAS DE TENSION DE SECUENCIA POSITIVA.
- LAS CORRIENTES DE SECUENCIA NEGATIVA O CERO PRODUCEN SOLO CAIDAS DE TENSION DE LA MISMA SECUENCIA.

EN CUALQUIER PARTE BALANCEADA O SIMETRICA LAS TENSIONES GENERADAS POR LA MAQUINA ROTATORIA SON IGUALES EN FASE Y DESPLAZADOS  $120^\circ$  Y LAS IMPEDANCIAS SON IGUALES EN LAS TRES FASES.

EN CUALQUIER PARTE DESBALANCEADA O ASIMETRICA DE UN SISTEMA :

- LAS CORRIENTES DE SECUENCIA POSITIVA PRODUCEN CAIDAS DE TENSION DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA Y POSIBLEMENTE DE SECUENCIA CERO.
- LAS CORRIENTES DE SECUENCIA NEGATIVA PRODUCEN CAIDAS DE TENSION DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y POSIBLEMENTE DE SECUENCIA, CERO.
- LAS CORRIENTES DE SECUENCIA CERO PRODUCEN CAIDAS DE TENSION POSITIVA, NEGATIVA Y DE SECUENCIA CERO.

DADO QUE SE PRESUME QUE LOS SISTEMAS TRIFÁSICOS ESTAN BALANCEADOS HASTA EL PUNTO DE FALLA O DE DESBALANCEO, NO SE CONSIDERA UNA INTERACCIÓN ENTRE LAS TRES SECUENCIAS HASTA ESE PUNTO. CADA CONJUNTO DE SECUENCIAS PUEDE SER TRATADO SEPARADAMENTE.

### IMPEDANCIAS DE SECUENCIA

LAS CANTIDADES  $Z_1$ ,  $Z_2$  Y  $Z_0$  SON LAS IMPEDANCIAS DEL SISTEMA AL FLUJO DE LAS CORRIENTES DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO, RESPECTIVAMENTE.

CON EXCEPCIÓN DEL ÁREA DE FALLA O DE DESBALANCEO CADA IMPEDANCIA DE SECUENCIA SE CONSIDERA IGUAL EN LAS TRES FASES DE UN SISTEMA SIMETRICO. ENSEGUIDA SE PRESENTA UNA BREVE REVISIÓN DE ESTAS CANTIDADES EN LOS DIFERENTES COMPONENTES DE UN SISTEMA.

### MAQUINAS SINCRONAS

$X_d''$	—	REACTANCIA SUBTRANSITORIA
$X_d'$	—	" TRANSITORIA
$X_d$	—	" SINCRONA

$X_d''$  Y  $X_d'$  SON REACTANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA. LAS DE SECUENCIA NEGATIVA SE CONSIDERAN APROXIMADAMENTE IGUALES Y COMO LA DE SECUENCIA CERO ES MENOR QUE ESTAS, NO SE ACOSTUMBRA ATERRIZAR SOLIDAMENTE EL GENERADOR.

## TRANSFORMADORES

EN LOS TRANSFORMADORES LOS VALORES DE SECUENCIA NEGATIVA Y POSITIVA DE SUS REACTANCIAS SON IDENTICOS EL VALOR DE SECUENCIA CERO ES TAMBIEN IGUAL A LOS OTROS VALORES DE SECUENCIA, O ES INFINITO.

LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA PARA UN NUMERO DE BANCO DE TRANSFORMADORES SE MUESTRAN EN LA FIGURA ANEXA

## LINEAS DE TRANSMISION

EN LINEAS DE TRANSMISION, LAS REACTANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA SON LAS MISMAS. LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO SIEMPRE ES DIFERENTE DE LAS OTRAS DOS PUEDE VARIAR DE 2 A 6 VECES  $X_1$ , UNA APROXIMACION GRUESA ES 3 A 3.5 VECES  $X_1$

## REDES DE SECUENCIA

ASUMIENDO QUE EL SISTEMA ESTA BALANCEADO O SIMETRICO AL PUNTO DE DESBALANCE O FALLA, LOS TRES COMPONENTES DE SECUENCIA SON INDEPENDIENTES Y NO REACCIONAN UNA CON OTRO. ASI, SE REQUIEREN 3 REDES DE SECUENCIA PARA SEPARAR LOS TRES COMPONENTES DE SECUENCIA PARA CONSIDERACION INDIVIDUAL: UNA PARA SECUENCIA POSITIVA, OTRA PARA LA -

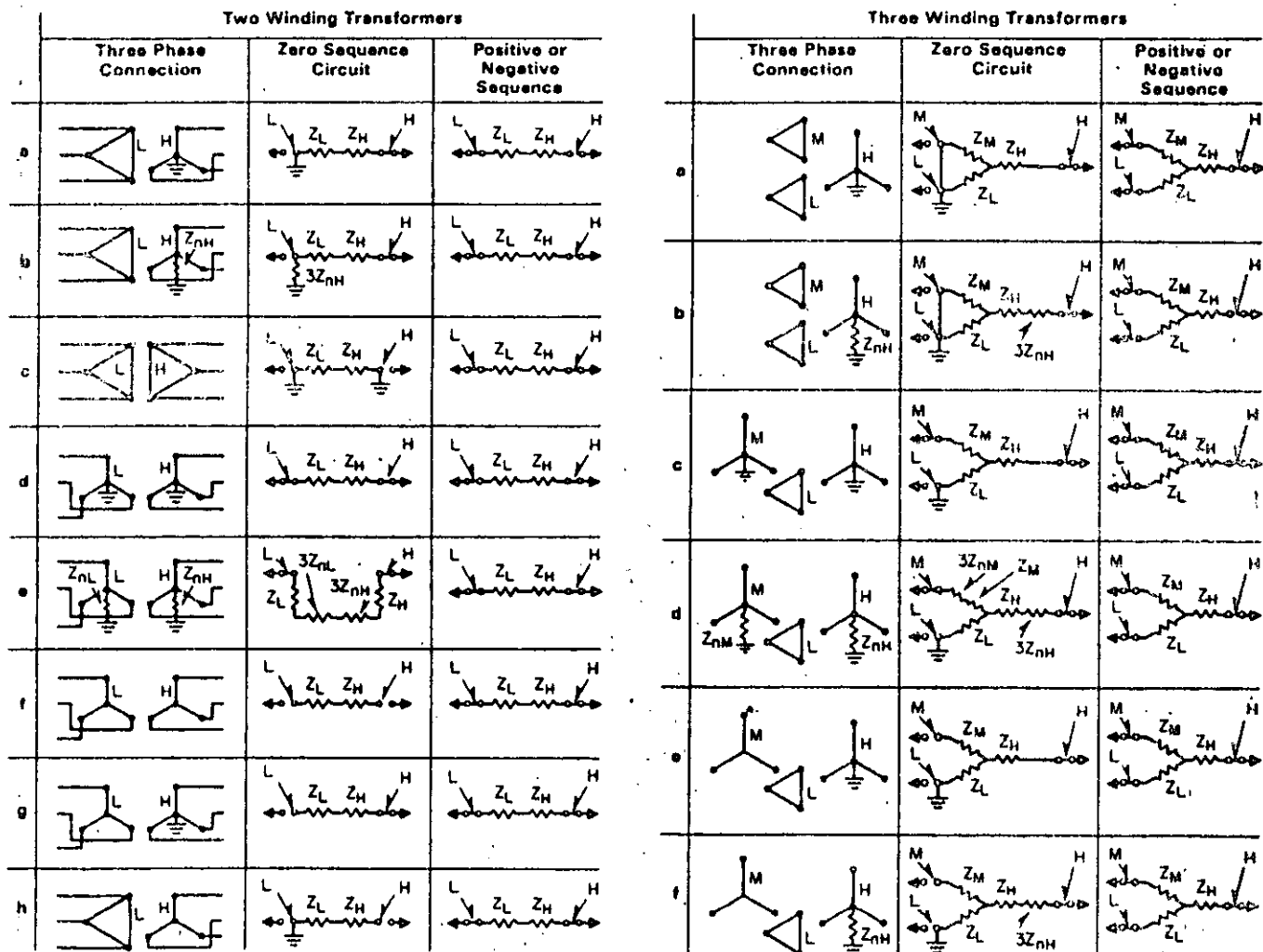
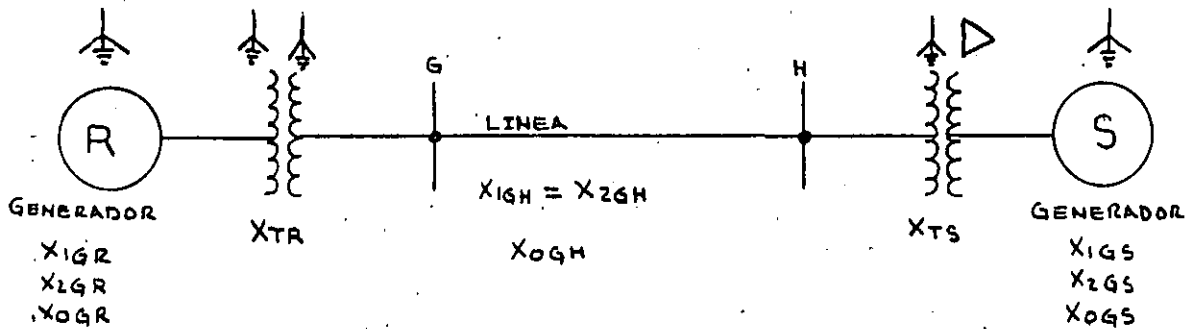


Figure 2-22: Equivalent Positive, Negative and Zero Sequence Circuits for Some Common and Theoretical Connections for Two and Three Winding Transformers.

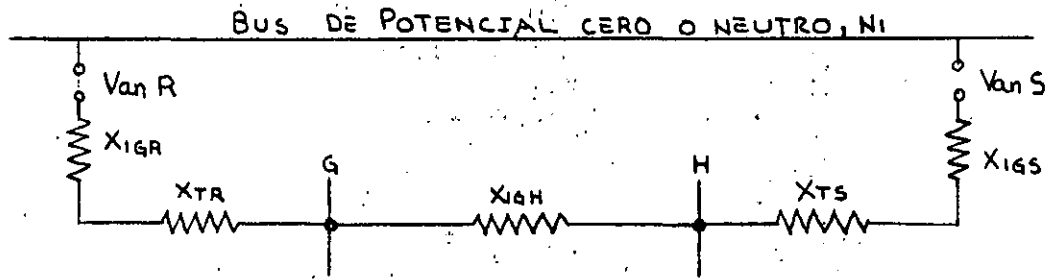
CIRCUITOS DE SECUENCIA PARA TRANSFORMADORES



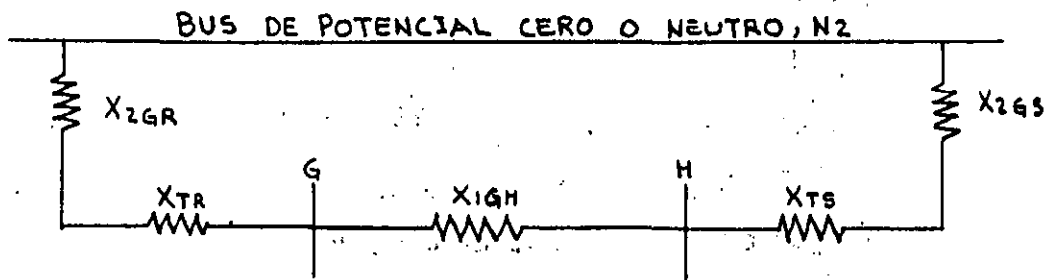
NEGATIVA Y LA DE SECUENCIA CERO. ESTAS REDES DE SECUENCIA CONSISTEN EN UNA FASE A NEUTRO DEL SISTEMA DE POTENCIA, MOSTRANDO TODOS LOS COMPONENTES RELEVANTES DEL PROBLEMA BAJO CONSIDERACION. LOS DIAGRAMAS TIPO SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS SIGUIENTES:

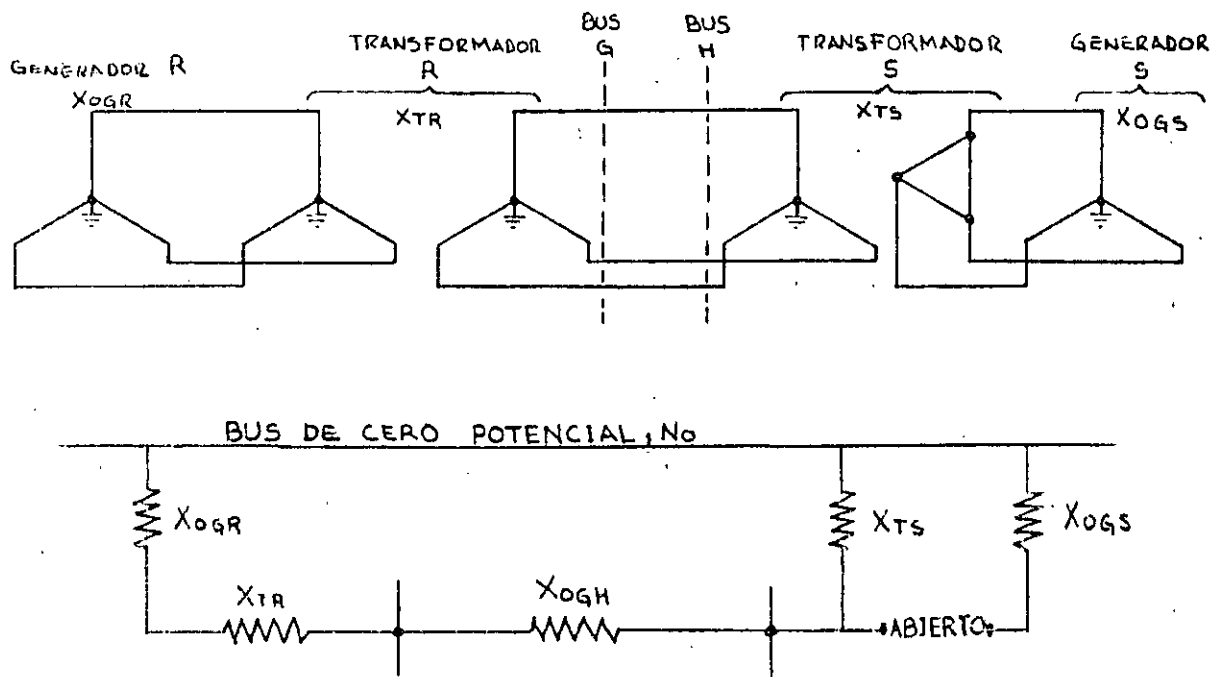


RED DE SECUENCIA POSITIVA



RED DE SECUENCIA NEGATIVA





LA RED DE SECUENCIA POSITIVA DEBE MOSTRAR LOS VOLTAJES DE LOS GENERADORES Y LAS IMPEDANCIAS DE GENERADORES, TRANSFORMADORES Y LINEAS, LA RED DE SECUENCIA NEGATIVA ES IGUAL A LA PRIMERA, CON DOS EXCEPCIONES: 1) NO EXISTIRAN VOLTAJES DE GENERADORES, DADO QUE LAS MAQUINAS SINCRONAS PRODUCEN SECUENCIA POSITIVA SOLAMENTE; 2) LA REACTANCIA DE SECUENCIA NEGATIVA PUEDE SER DIFERENTE, AUNQUE PARA EFECTOS PRACTICOS SE CONSIDERAN IGUALES  $X_1$  Y  $X_2$ .

LA RED DE SECUENCIA CERO ES ALGO DIFERENTE A LAS OTRAS DOS: ANTES QUE TODO NO TIENE VOLTAJE: LA MAQUINARIA ROTATORIA NO PRODUCE VOLTAJE DE SECUENCIA CERO. TAMBIEN, LAS CONEXIONES DE TRANSFORMADORES REQUIEREN CONSIDERACION ESPECIAL Y LAS IMPEDANCIAS DE ATE-

-REZAMIENTO DEBEN INCLUIRSE. EN LA TABLA ANEXA SE MUESTRAN LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA CERO PARA VARIOS TRANSFORMADORES.

CONEXIONES EN REDES DE SECUENCIA Y VOLTAJES

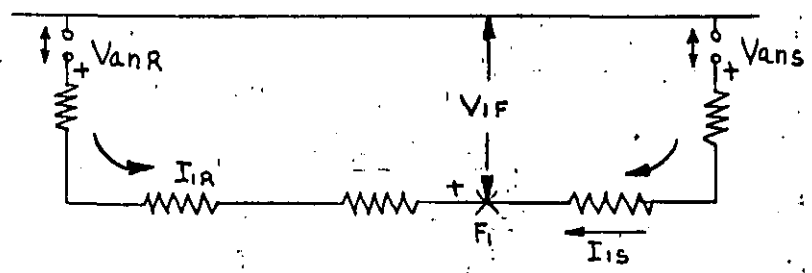
LA DIRECCION DEL FLUJO DE CORRIENTE Y LAS CONEXIONES DE VOLTAJE SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS SIGUIENTES:

LA CAIDA DE TENSION EN CUALQUIER PUNTO DE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA ES:

$$V_1 = V_{an} - \sum I_1 Z_1$$

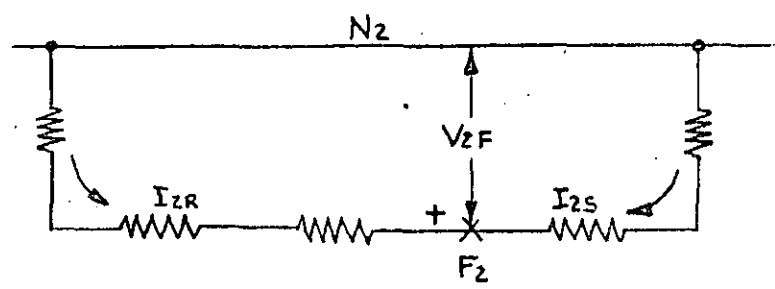
DONDE

$\sum I_1 Z_1$  ES LA SUMA FASORIAL DE LAS CAIDAS  $I_1 Z_1$  DESDE EL BUS DE CERO POTENCIAL ( $N_1$ ) HASTA EL PUNTO DONDE SE REQUIERE DETERMINAR EL VOLTAJE:



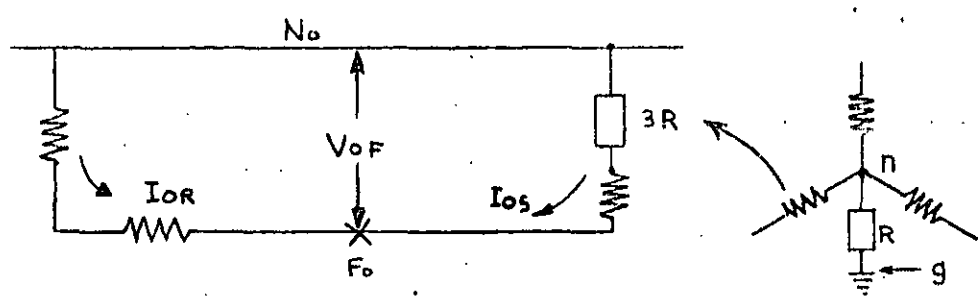
LA RED DE SECUENCIA NEGATIVA :

$$\dot{V}_2 = 0 - \sum \dot{I}_2 \dot{Z}_2$$



EN LA RED DE SECUENCIA CERO :

$$\dot{V}_0 = 0 - \sum \dot{I}_0 \dot{Z}_0$$



CADA RED DE SECUENCIA ESTA EN POR UNIDAD, REPRESENTANDO UNA DE LAS TRES FASES DEL SISTEMA DE POTENCIA SIMETRICO. POR LA RESISTENCIA R CIRCULA  $3I_0$ , PERO COMO EN EL DIAGRAMA FLUYE  $I_0$ , SE TIENE UNA TENSION EQUIVALENTE CON  $3R$  POR  $I_0$ .

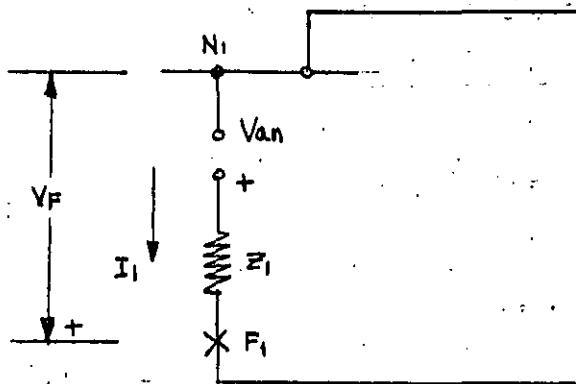
LA MULTIPLICACION DE

## CONEXIONES DE REDES EN CASO DE FALLA

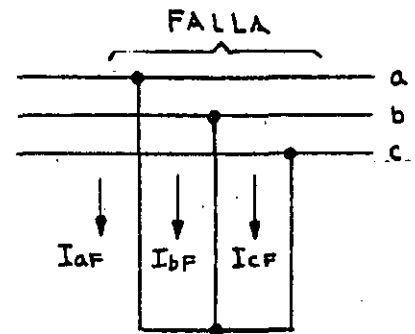
### O DESBALANCEO GENERAL

LAS REDES DE SECUENCIA PUEDEN SER INTERCONECTADAS EN UNA AREA DE DESBALANCE, TAL COMO UNA FALLA. ENSEGUIDA SE MUESTRAN LAS CONEXIONES DE REDES DE SECUENCIA PARA VARIOS TIPOS DE FALLAS COMUNES.

### FALLA TRIFASICA



$$\dot{I}_a = \dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_{an}}{Z_1}$$



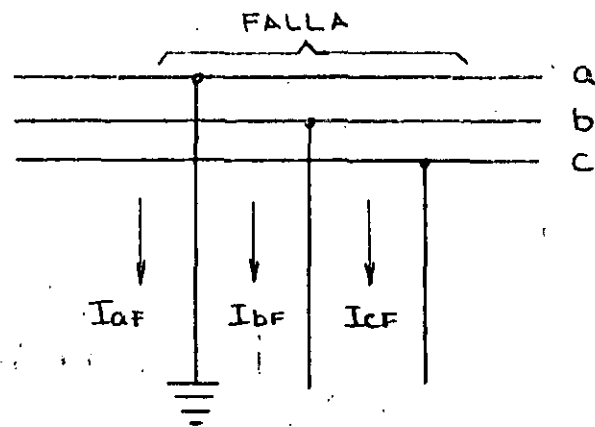
EN LA FALLA

$$\dot{V}_{an} + \dot{V}_{bn} + \dot{V}_{cn} = 0$$

$$\dot{I}_{aF} + \dot{I}_{bF} + \dot{I}_{cF} = 0$$

DADO QUE LA FALLA TRIFASICA ES SIMETRICA,  
NO SE REQUIEREN COMPONENTES SIMETRICOS PARA ESTE  
CALCULO. SIN EMBARGO, DADO QUE LA RED DE SECUENCIA  
 POSITIVA REPRESENTA EL SISTEMA, LA RED PUEDE SER  
 CONECTADA COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA ANTERIOR

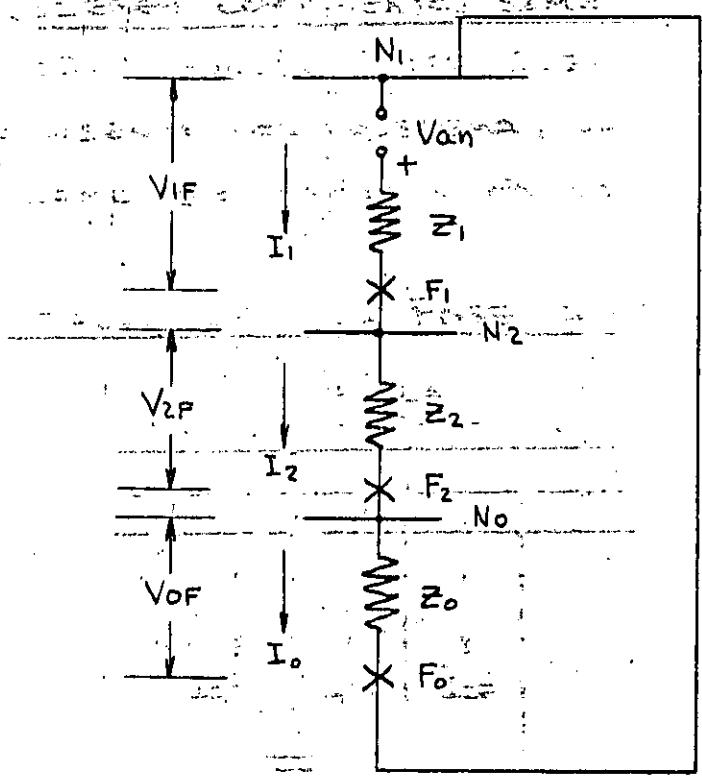
### FALLA DE UNA FASE A TIERRA




EN LA FALLA :

$$V_{ag} = 0$$

$$I_{bF} = I_{cF} = 0$$



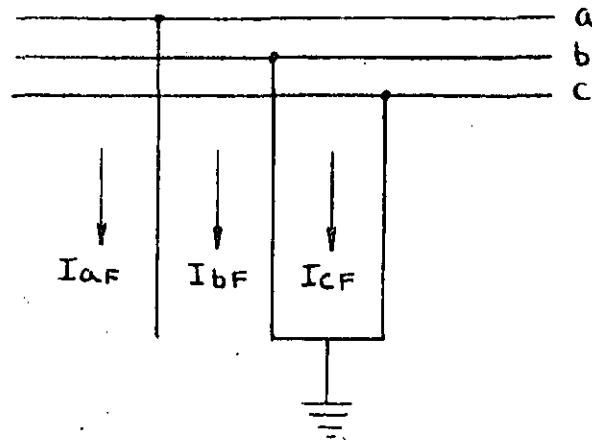
$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 = \dot{I}_0 = \frac{\dot{V}_{an}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$$

EN EL CASO DE QUE EXISTA UNA IMPEDANCIA AL NEUTRO DEL SISTEMA (  ) SE TENDRIA:

$$I_{af} = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 3 I_{a1} =$$

$$I_{af} = \frac{3 \dot{V}_{an}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 + 3\dot{Z}_n}$$

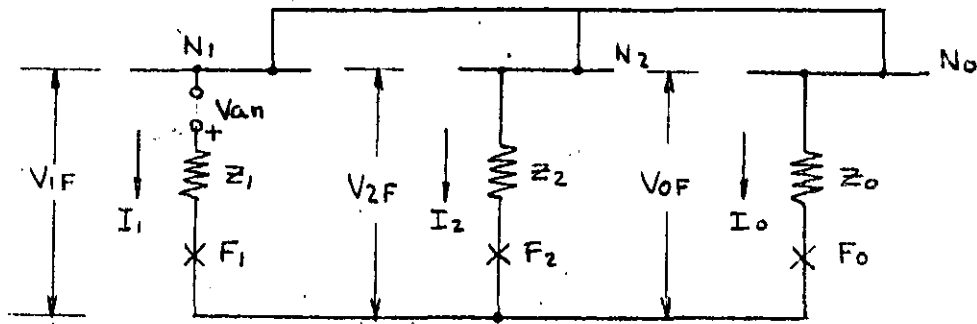
## DOBLE FASE A TIERRA



EN LA FALLA

$$\dot{V}_{bg} = \dot{V}_{cg} = 0$$

$$\dot{I}_{aF} = 0$$



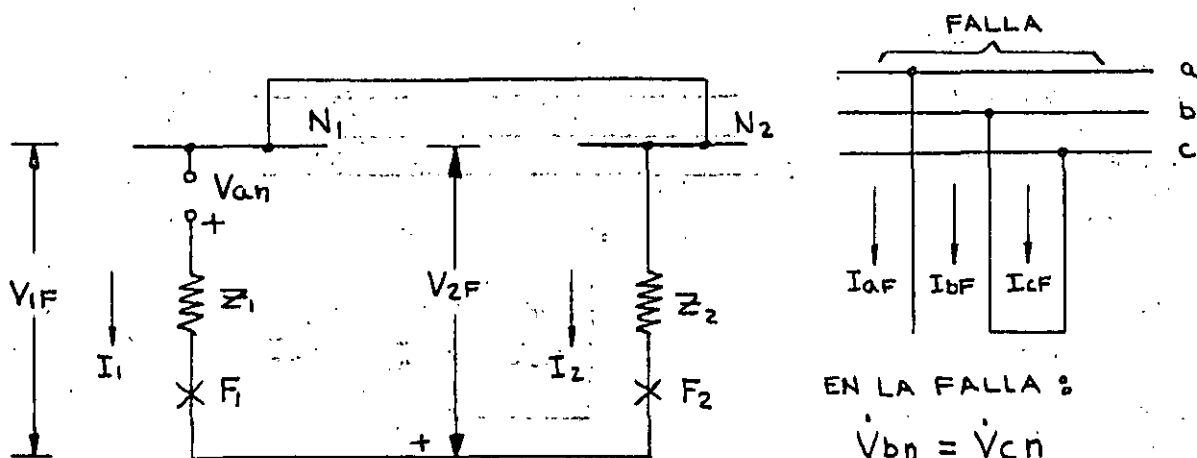
$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_{an}}{\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}}$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$$

$$\dot{I}_0 = -\dot{I}_1 \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$$



## FALLA DE FASE A FASE



EN LA FALLA :

$$\dot{V}_{bn} = \dot{V}_{cn}$$

$$\dot{I}_{aF} = 0$$

$$\dot{I}_{bF} = -\dot{I}_{cF}$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 \frac{\dot{V}_{an}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

$$\dot{I}_{bF} = -\dot{I}_{cF} = \dot{I}_{b1} + \dot{I}_{b2} = (a^2 - a) \dot{I}_{a1} = \sqrt{3} \angle 270^\circ \dot{I}_{a1}$$

$$\dot{I}_{bF} = -\dot{I}_{cF} = \sqrt{3} \angle 270^\circ \frac{\dot{V}_{an}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

LOS ESTUDIOS DE FALLA NORMALMENTE INCLUYEN LA FALLA TRIFASICA Y LA FALLA MONOFASICA A TIERRA.

LAS FALLAS TRIFASICAS SON DE LAS MAS SEVERAS, MIENTRAS QUE LAS FALLAS MONOFASICAS SON LAS MAS COMUNES ; LOS ESTUDIOS DE ESTAS ULTIMAS PROVEEN INFORMACION UTIL PARA AJUSTES DE RELEVADORES DE TIERRA.

LA FALLA DE LINEA A LINEA ES 87% DE LA FALLA TRIFASICA.

EN EL CALCULO DE LA MAXIMA CORRIENTE SIEMPRE SE ASUME QUE LA FALLA TIENE IMPEDANCIA CERO EN EL PUNTO DE FALLA (NO SE CONSIDERA LA IMPEDANCIA DE ARCO), PERO DEBE RECONOCERSE SIN EMBARGO, QUE LAS FALLAS REALES CON FRECUENCIA INVOLUCRAN ARQUEO, QUE REDUCE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DE FALLA.

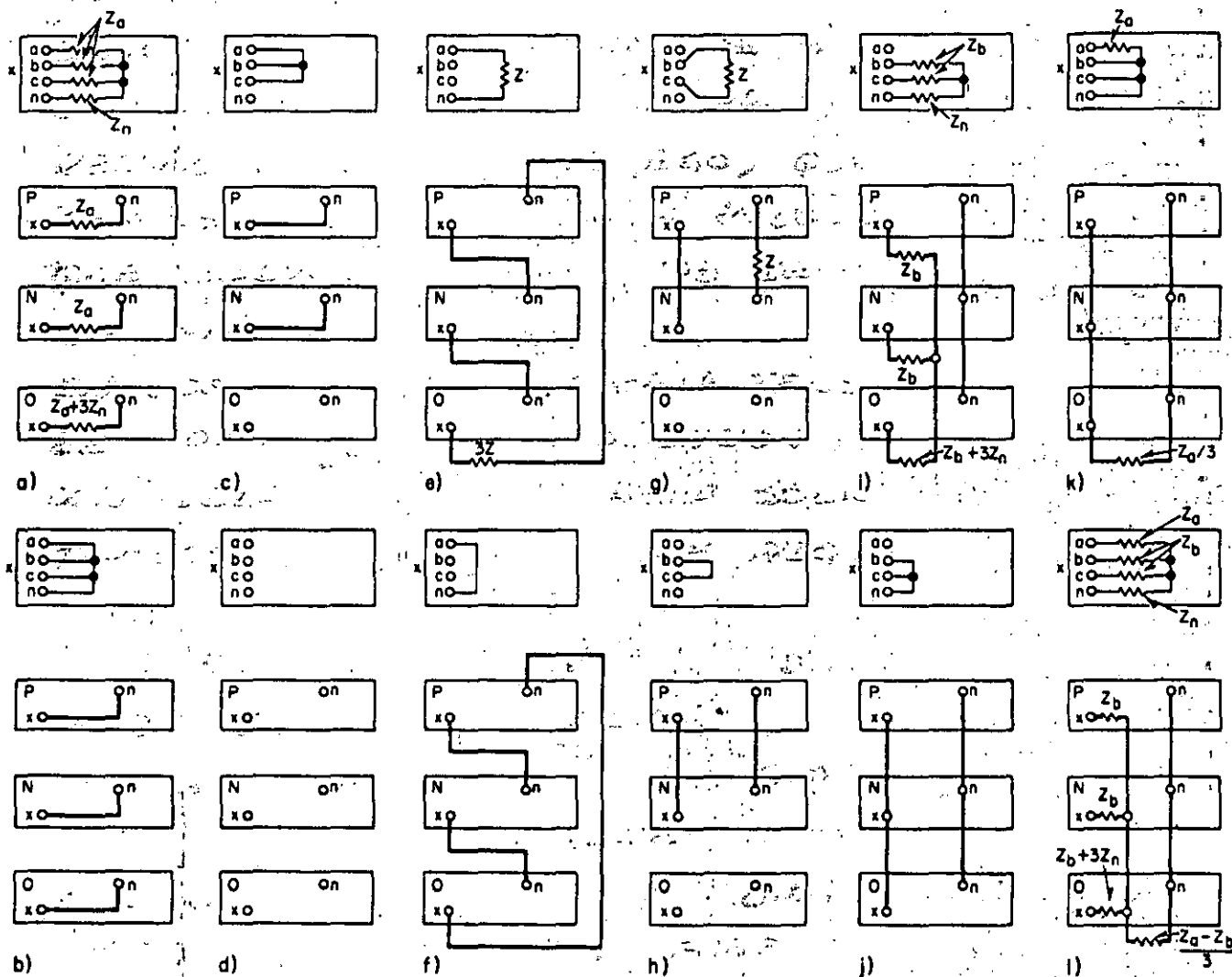
EN LOS SISTEMAS DE BAJA TENSION, SI SE DEBE TOMAR EN CONSIDERACION ESTE EFECTO; CON RELACION A LA FALLA SOLIDA LOS VALORES TIPICOS DE LA FALLA DE ARQUEO SON:

+ 0.89 p.u. A 480 V y 0.12 A 220 V  
PARA ARQUEO TRIFASICO

+ 0.74 A 480V y 0.02 A 220 V  
PARA ARQUEO DE LINEA A ~~WOLVOLTAGE~~ LINEA.

+ 0.38 A 277 V y 0.01 A 120 V  
PARA TENSIONES DE FASE A NEUTRO EN LA FALLA DE ARQUEO A TIERRA.

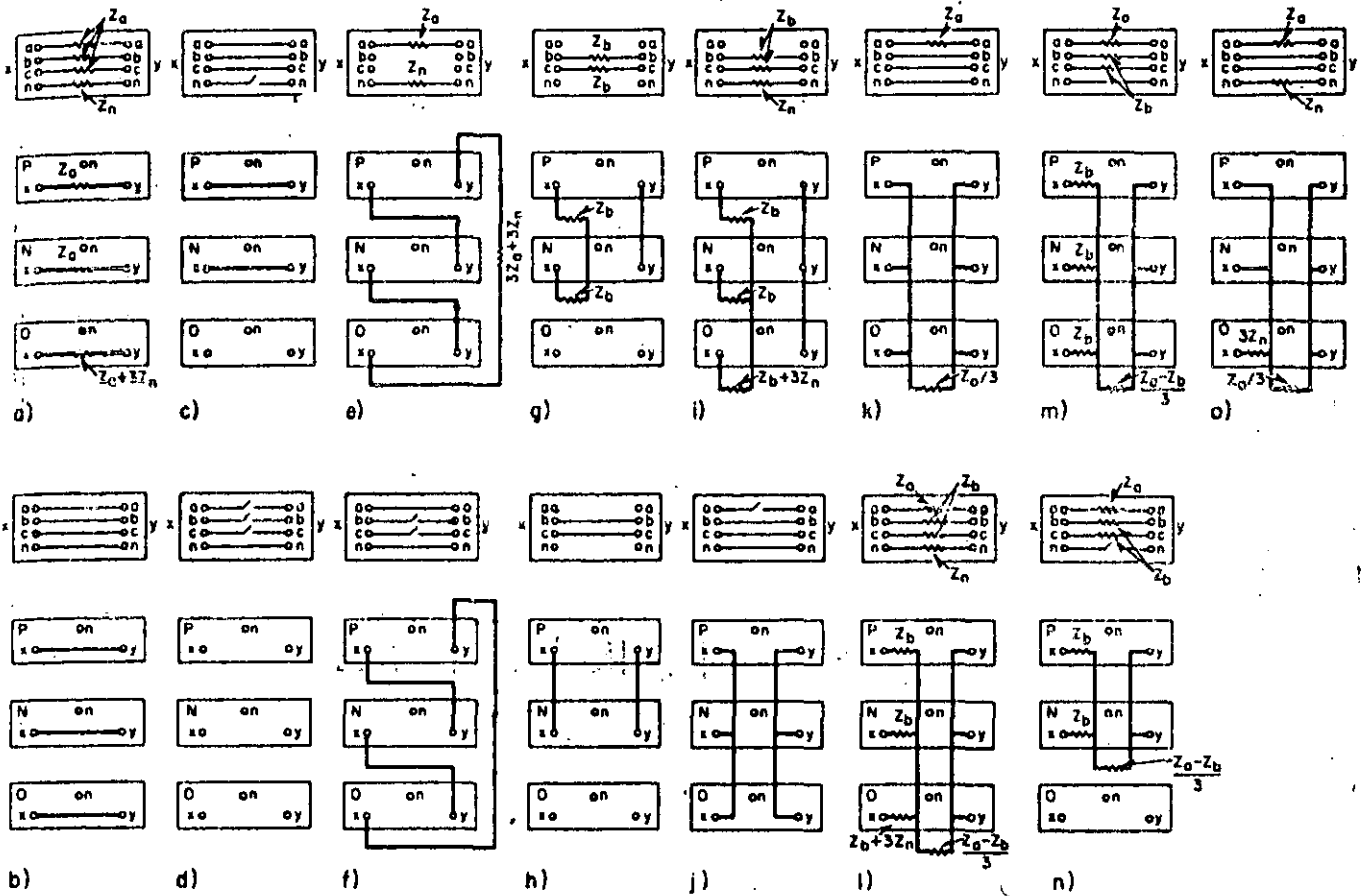
UN ESTUDIO FUNDAMENTAL SOBRE DESBALANCEOS EN SERIE Y PARALELO EN CIRCUITOS, FUE HECHO POR E.L. HARDER, Y SE RESUMIEN ESTOS DESBALANCEOS EN LAS FIGURAS 2.31 y 2.32 (VERSION EN INGLES)



Note:

- a) Balanced load or three-line-to-ground fault with impedances.
- b) A three-line-to-ground fault.
- c) A three-phase fault.
- d) A shunt circuit open.
- e) A line-to-ground fault through an impedance.
- f) A line-to-ground fault.
- g) A line-to-line fault through impedance.
- h) A line-to-line fault.
- i) A two-line-to-ground fault with impedance.
- j) A two-line-to-ground fault.
- k) A three-line-to-ground fault with impedance in phase a.
- l) Unbalanced load or three-line-to-ground fault with impedance.

Figure 2-31: Sequence Network Interconnections for Shunt Balanced and Unbalanced Conditions.



**Note:**

- a) Equal impedances in three phases.
- b) Normal conditions.
- c) Neutral open.
- d) Any three or four phases open.
- e) Phases b and c open, impedances in phases a and neutral.
- f) Phases b and c open.
- g) Phases a and neutral open, impedance in b and c.
- h) Phases a and neutral open.
- i) Phase a open, impedances in b, c, and neutral.
- j) Phase a open.
- k) Impedance in phase a.
- l) Equal impedances in b and c phases, and neutral.
- m) Equal impedances in b and c phases.
- n) Equal impedances in b and c phases, neutral open.
- o) Impedances in phase a and neutral.

**Figure 2-32: Sequence Network Interconnections for Series Balanced and Unbalanced Conditions.**

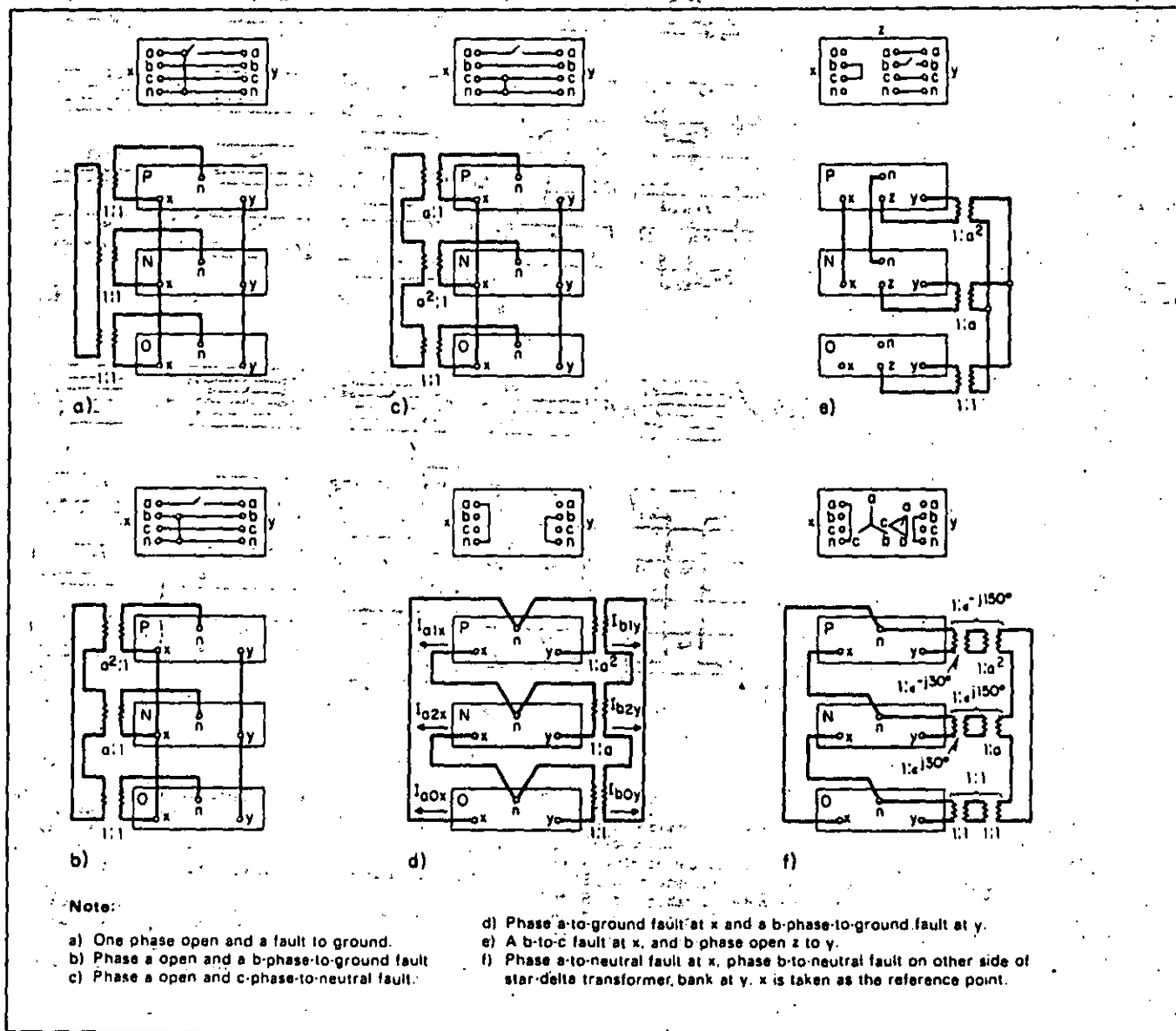


Figure 2-33: Representations for Simultaneous Unbalances.

EN LA FIGURA 2.31, EL SISTEMA DE POTENCIA COMPLETO HASTA EL PUNTO "X" SE REPRESENTARA POR UNA CAJA RECTANGULAR QUE SE APLICARA A LA CAJA SUPERIOR MOSTRADA EN CADA CASO TIPICO DE LA FIGURA 2.31 (CASO a, b, c, etc.). EN ESTA CAJA SUPERIOR ESTA UNA REPRESENTACION DE 4 HILOS DE EL "SHUNT" A SER CONECTADO AL SISTEMA EN EL PUNTO "X" DE FALLA. LAS TRES CAJAS INFERIORES PARA CADA CONDICION DE "SHUNT" SON LA REPRESENTACION EN SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y POSITIVA DEL SHUNT.

EN LA FIGURA 2.32 SE MUESTRAN DESBALANCEOS EN SERIE TAL Y COMO FASES ABIERTAS O IMPEDANCIAS DESBALANCEADAS EN SERIE, AQUI SE USAN UN PUNTO X Y UN PUNTO Y, EXTREMOS DE LA CAJA QUE SE INSERTARA EN EL CIRCUITO DE POTENCIA BAJO ESTUDIO.

## REDUCCION DE REDES DE SECUENCIA

CUANDO SE REALIZAN CALCULOS MANUALES, LA RED COMPLETA DEL SISTEMA SE REDUCE A UN UNICO VALOR DE IMPEDANCIA EN CADA SECUENCIA. PARA SIMPLIFICAR ESTA REDUCCION SE ASUME LO SIGUIENTE:

- TODOS LOS VOLTAJES GENERADOS SON IGUALES Y EN FASE
- EN MEDIA Y EN ALTA TENSION LAS RESISTENCIAS SE DESPRECIAN, NO SIENDO ASI EN BAJA TENSION (COMO SE VERA MAS ADELANTE)
- SE DESPRECIAN TODAS LAS REACTANCIAS EN DERIVACION, INCLUYENDO CARGAS, REACTANCIAS DE MAGNETIZACION ETC.
- TODAS LAS REACTANCIAS MUTUAS SE DESPRECIAN CON EXCEPCION DE LINEAS PARALELAS.

USANDO ESTAS CONSIDERACIONES, LA RED DE SECUENCIA POSITIVA PUEDE SER DIBUJADA CON UNA FUENTE SENCILLA DE TENSION  $V_{an}$ , CONECTADA A LAS IMPEDANCIAS DEL GENERADOR POR UN BUS (ES DECIR, TODAS LAS FUENTES DE VOLTAJE SE REDUCEN A UNA SOLA, CON

IMPEDANCIAS EN PARALELO).

SI LOS VOLTAJES SON DIFERENTES, EL TEOREMA DE THEVENIN O EL DE SUPERPOSICION PUEDE SER USADO PARA REDUCIR LA RED Y CALCULAR LAS FALLAS.

LAS IMPEDANCIAS DE SECUENCIA (+), (-) y (0) SERAN DIFERENTES PARA CADA LOCALIZACION DIFERENTE DE LA FALLA, REQUIRIENDO CADA UNA DE ESTAS UNA TAMBIEN DIFERENTE REDUCCION DE LA RED. DURANTE LA REDUCCION DE LA RED, LA DISTRIBUCION DE CORRIENTES EN LAS DIFERENTES RAMAS DEBERIA DE SER CALCULADA TANTO COMO UNA COMPROBACION COMIO PARA DETERMINAR EL FLUJO DE CORRIENTE A TRAVES DE LOS RELEVADORES INVOLUCRADOS EN UNA FALLA.

CON RELACION A EL SISTEMA ILUSTRADO EN LAS PAGINAS \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_, SE MUESTRAN A CONTINUACION LA REDUCCION DE LA RED. SE CONSIDERA UNA FALLA EN EL BUS "G", Y SE REDUCIRAN LAS DISTINTAS IMPEDANCIAS A UNOS VALORES UNICOS DE  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_0$ .



SE ASUME QUE LAS CORRIENTES  $I_1, I_2$  e  $I_0$  TIENEN UN VALOR DE 1.0 (POR UNIDAD) (P.U.) Y QUE LAS CORRIENTES  $I_{IR}$  y  $I_{IL}$  SUMADAS NOS DARAN 1.0 P.U. O SEA EL VALOR DE  $I_1$ ; LO MISMO ES APLICABLE A LAS OTRAS SECUENCIAS.

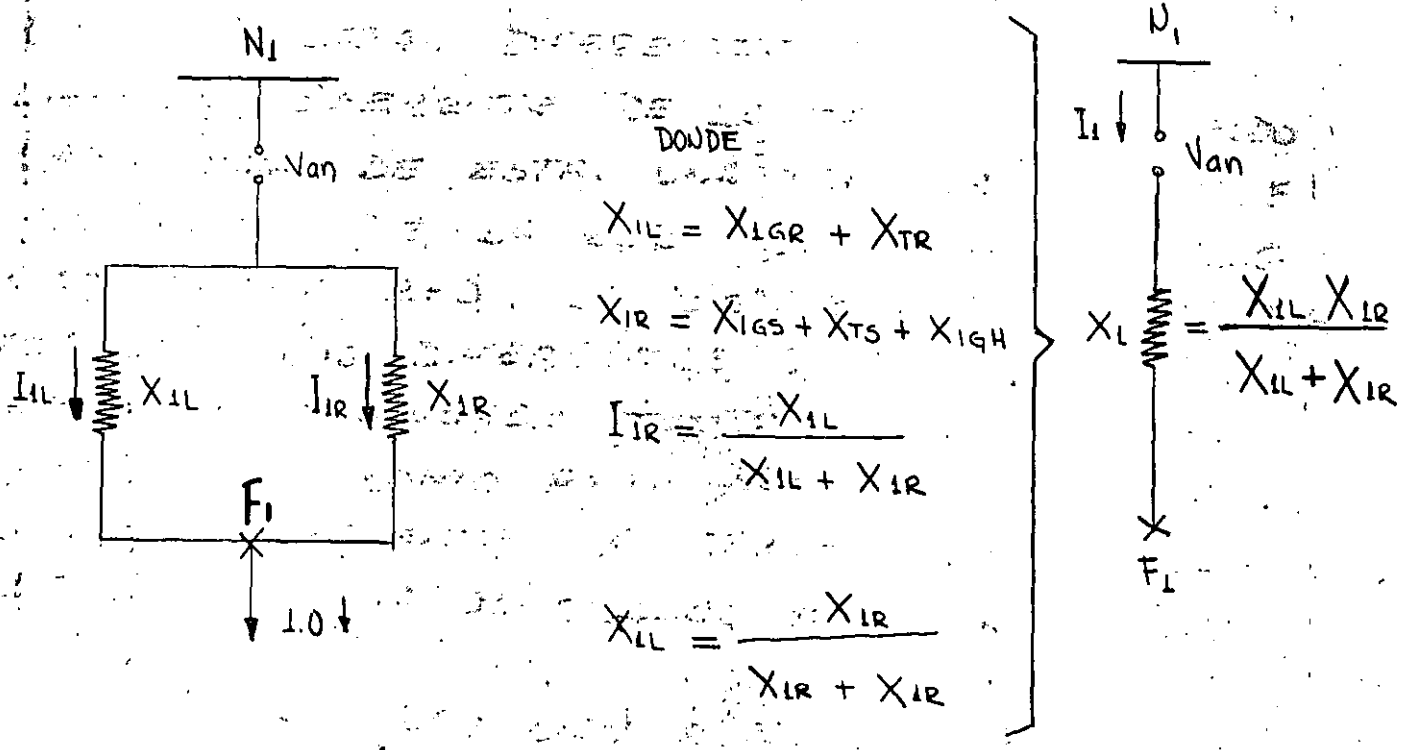
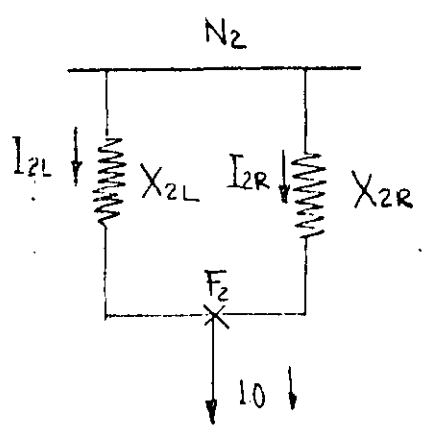


FIGURA: REDUCCION DE LA RED DE SECUENCIA POSITIVA PARA UNA FALLA EN EL BUS "G".



DONDE

$$X_{2L} = X_{2GR} + X_{TR}$$

$$X_{2R} = X_{2GE} + X_{TS} + X_{IGH}$$

$$I_{2L} = \frac{X_{2R}}{X_{2L} + X_{2R}}$$

$$I_{2R} = \frac{X_{2L}}{X_{2L} + X_{2R}}$$

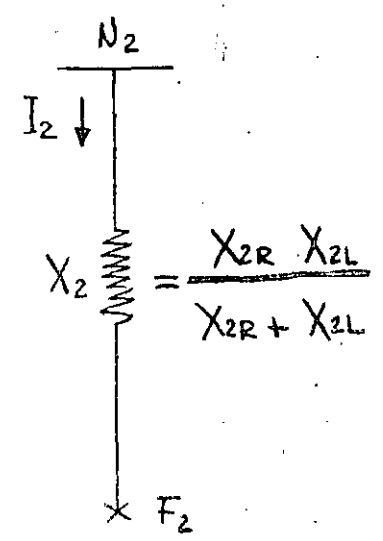
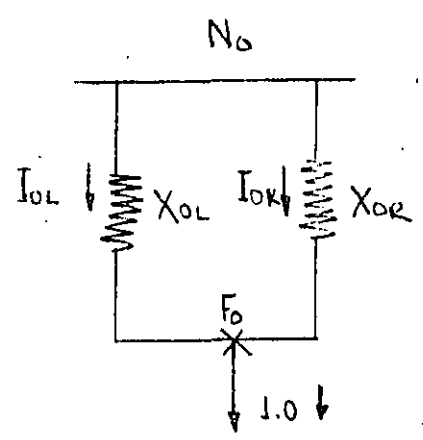


FIGURA: REDUCCION DE LA RED DE SECUENCIA NEGATIVA PARA UNA FALLA EN EL BUS G.



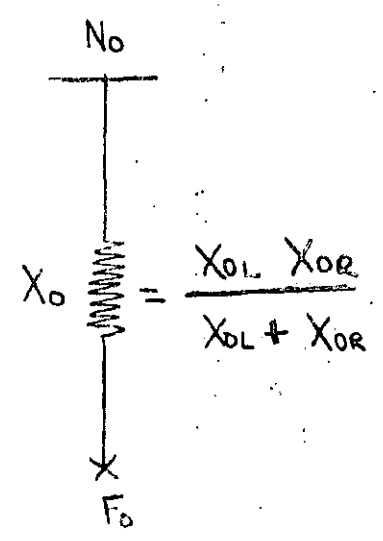
DONDE

$$X_{0L} = X_{0GR} + X_{TR}$$

$$X_{0R} = X_{TS} + X_{0RH}$$

$$I_{0L} = \frac{X_{0R}}{X_{0L} + X_{0R}}$$

$$I_{0R} = \frac{X_{0L}}{X_{0L} + X_{0R}}$$



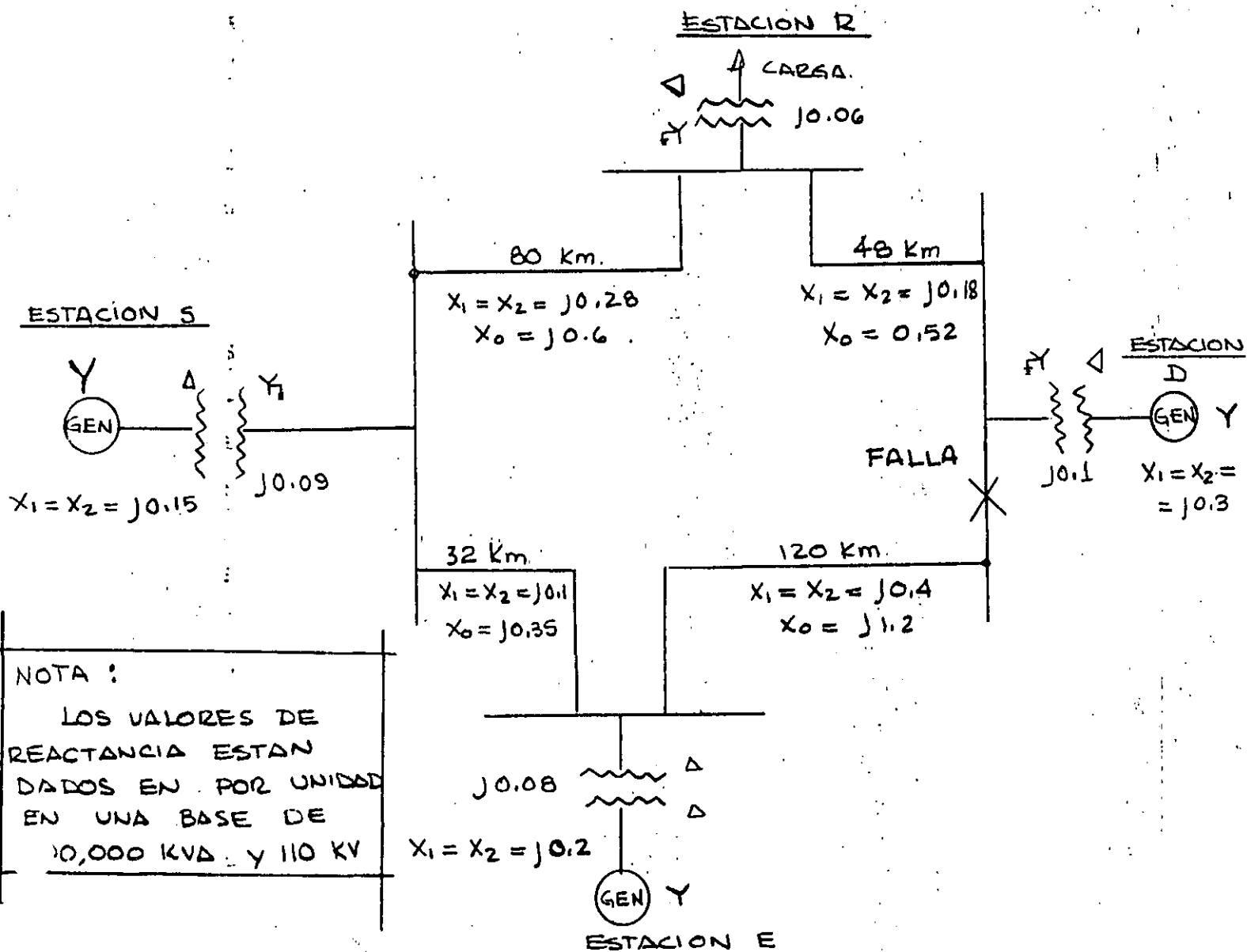
PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LAS CORRIENTES DE FALLA,

- a) ANTES QUE OTRA COSA, SE DEBEN CONOCER LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LA RED. QUE INTERRUPTORES ESTAN ABIERTOS Y CUALES CERRADOS; MAXIMA Y MINIMA GENERACION ETC.
- b) HAGA UN DIAGRAMA UNIFILAR COMPLETO PARA EL SISTEMA, INCLUYENDO GENERADORES, TRANSFORMADORES, LINEAS, MOTORES SINCRONOS Y DE INDUCCION, CABLES, BUSES; SE DEBERAN ANOTAR LAS IMPEDANCIAS DE SECUENCIA (+), (-) y (0) DE CADA COMPONENTE.
- c) PREPARE A PARTIR DEL DIAGRAMA DEL SISTEMA UN DIAGRAMA UNIFILAR PARA CADA RED DE SECUENCIA (+, -, 0)
- d) REDUZCA LOS VALORES DE IMPEDANCIAS A UNA BASE COMUN. LOS VALORES PUEDEN EXPRESARSE COMO UN PORCENTAJE EN UNA BASE COMUN EN KVA, O, COMO IMPEDANCIA EN OHMS EN UNA BASE COMUN DE VOLTAJE.

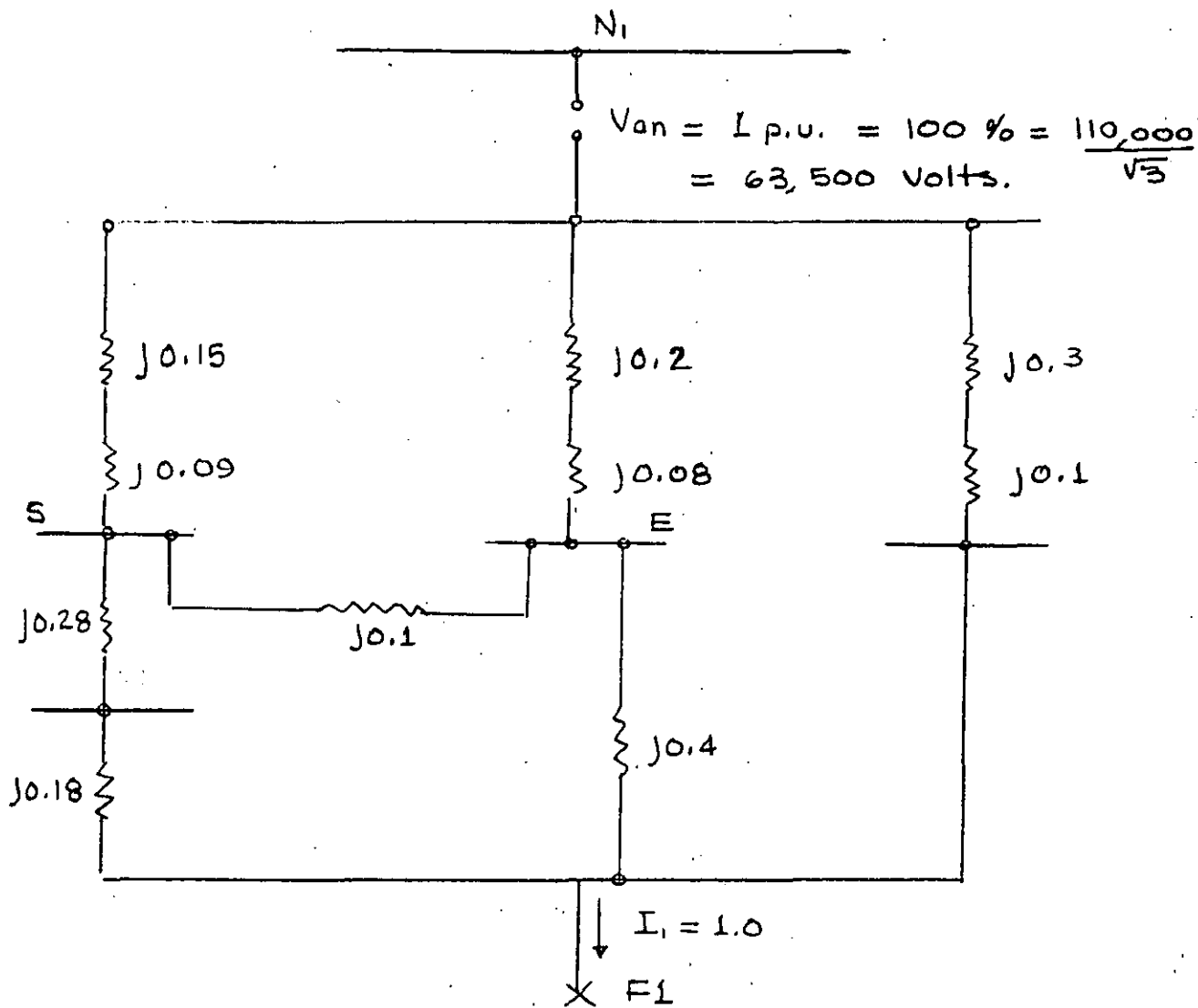
- e) OBTENGA LA IMPEDANCIA UNICA EQUIVALENTE DE CADA RED DE SECUENCIA, LOS FACTORES DE DISTRIBUCION DE CORRIENTES Y SI SE DESEA, LOS VOLTAJES EQUIVALENTES PARA LA RED DE SECUENCIA POSITIVA.
- f) INTERCONECTE LAS REDES REPRESENTANDO LA FALLA INVOLUCRADA Y CALCULE LA CORRIENTE TOTAL EN LA FALLA.
- g) DETERMINE LA DISTRIBUCION DE CORRIENTES Y VOLTAJES COMO SE REQUIERA EN EL SISTEMA.

## EJEMPLO DE CALCULO DE CORTO CIRCUITO EN UN SISTEMA DE POTENCIA

ESTE EJEMPLO AUNQUE NO ES TIPICO DE UN SISTEMA INDUSTRIAL, SIRVE PARA EJEMPLIFICAR LA APLICACION DE COMPONENTES SIMETRICAS, TODAS LAS IMPEDANCIAS HAN SIDO REDUCIDAS A UNA BASE COMUN, COMO SE INDICA EN EL DIAGRAMA.

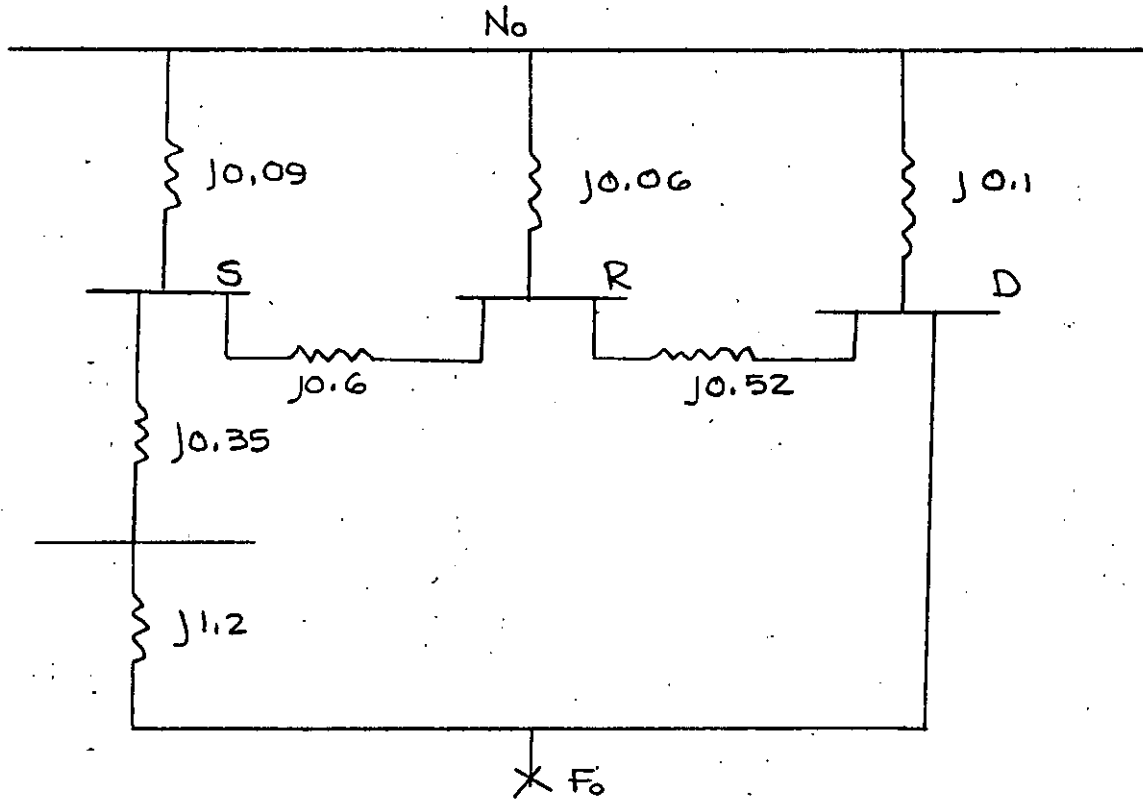


RED DE SECUENCIA POSITIVA



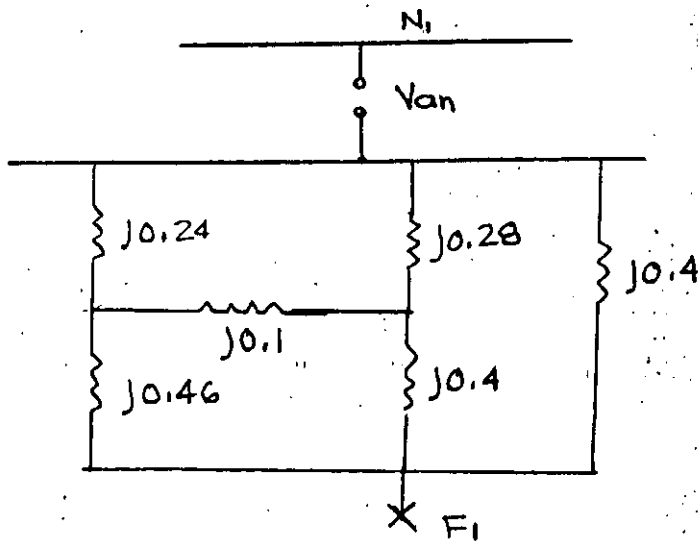
LA RED DE SECUENCIA NEGATIVA ES IGUAL A LA DE SECUENCIA POSITIVA, EXCEPTO QUE NO TIENE EL VOLTAJE  $V_{an}$ .

RED DE SECUENCIA CERO

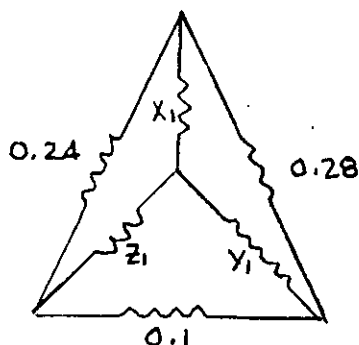


REDUCIENDO LAS REDES :

RED DE SECUENCIA POSITIVA



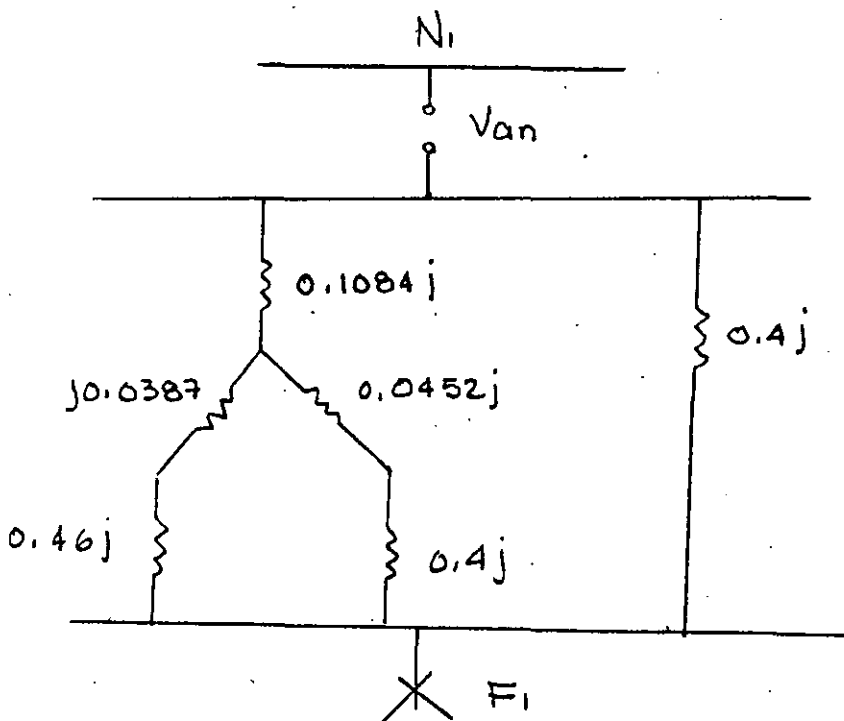
LAS IMPEDANCIAS DE LA DELTA (0.24, 0.1 y 0.28)  
SE CONVIERTEN A ESTRELLA PARA SU REDUC-  
CION.



$$X_1 = \frac{0.24 \times 0.28}{0.62} = 0.1084$$

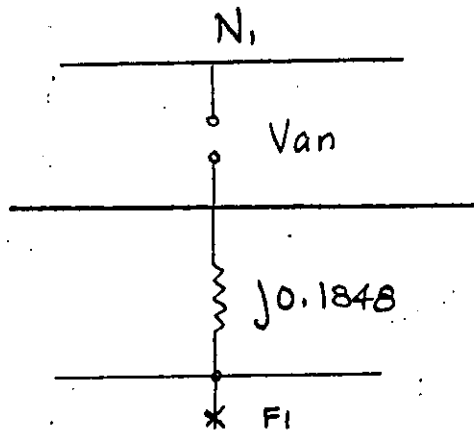
$$Y_1 = \frac{0.28 \times 0.1}{0.62} = 0.0452$$

$$Z_1 = \frac{0.24 \times 0.1}{0.62} = 0.0387$$



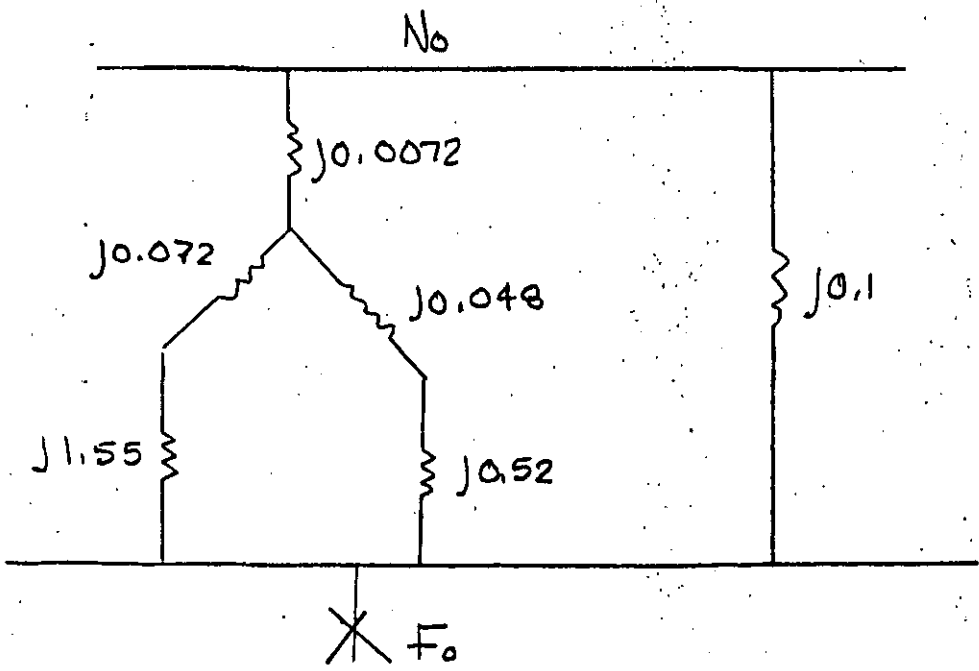


OPERANDO Y REDUCIENDO LA RED. :

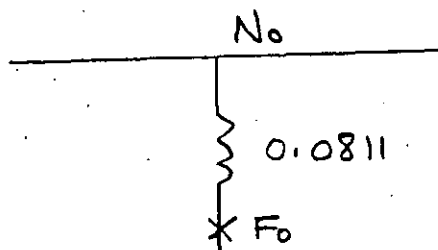
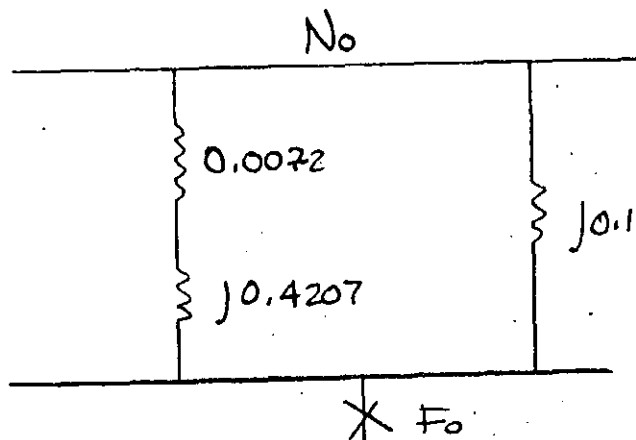


LA RED DE SECUENCIA CERO

OPERANDO CON LA RED DE SECUENCIA CERO EN LA MISMA FORMA QUE LA DE SECUENCIA POSITIVA.



REDUCIENDO



PARA FALLA TRIFASICA, EL VALOR DE CORRIENTE SERA :

$$I_{3\phi} = \frac{1.0}{0.1848} = 5.41 \text{ p.u.}$$

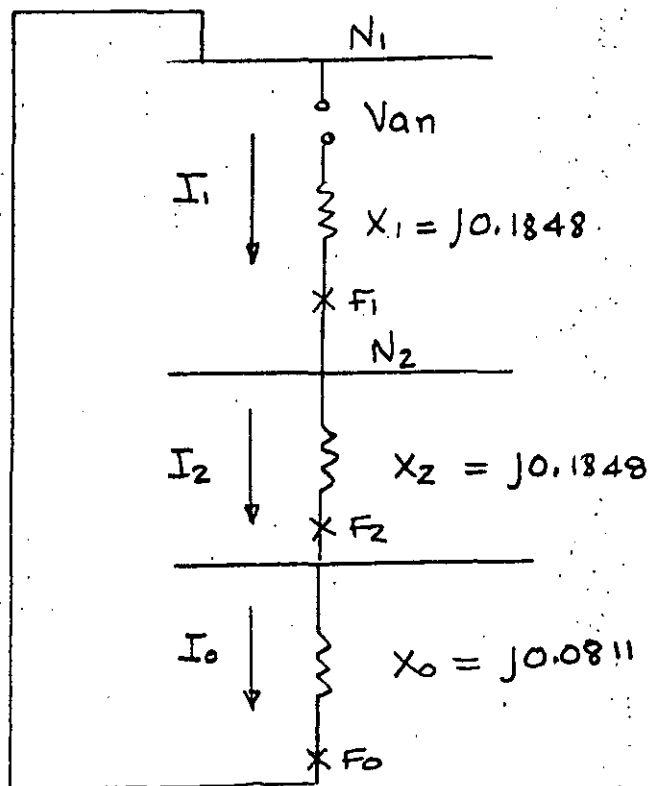
$$I_{\text{BASE}} = \frac{\text{KVA}_{\text{BASE}}}{\sqrt{3} \text{ KV}_{\text{BASE}}} = \frac{100,000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 524.86 \text{ A.}$$

$$I_{3\phi} = 5.41 \times 524.86$$

$I_{3\phi} = 2839 \text{ A}$
------------------------------

a 110 KVOLTS.

PARA LA FALLA MONOFASICA A TIERRA SE  
 CONECTAN LAS TRES REDES DE SECUENCIA :



$$I_{\phi-T} = \frac{3 \text{ p.u.}}{X_1 + X_2 + X_0} = \frac{3}{0.1848 + 0.1848 + 0.0811}$$

$$I_{\phi-T} = \frac{3}{0.4507} = 6.656 \text{ p.u.}$$

$$I_{\phi-T} = 6.656 \times 524.86 =$$

$I_{\phi-T} = 3493.6 \text{ A}$
---------------------------------

#### 4.5.2.- CALCULO DE CORRIENTES DE C. C., PASO A PASO.

CONOCIENDO LAS IMPEDANCIAS DE LOS DISPOSITIVOS O EQUIPO QUE SE ENCUENTRA EN EL SISTEMA, SE PROCEDE DE LA SIGUIENTE FORMA :

- a) ELABORAR EL DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA.
- b) ELABORAR EL DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS CON TODOS LOS DATOS NECESARIOS.
- c) SELECCIONAR LOS PUNTOS CRITICOS DE FALLA EN EL DIAGRAMA UNIFILAR.
- d) PARA CADA PUNTO DE FALLA, RESOLVER LA RED DE IMPEDANCIAS Y CALCULAR LA CORRIENTE SIMETRICA A PARTIR DE LA RELACION  $\frac{E}{Z}$
- e) APLICAR LOS FACTORES DE MULTIPLICACION APROPIADOS PARA SER UTILES EN LA SELECCION DEL EQUIPO DE INTERRUPCION DEL C. C.
- f) HACER CUALQUIER CALCULO SUPLEMENTARIO PARA CONOCER OTROS VALORES DE CORRIENTES DE C. C.; TALES COMO VALOR INSTANTANEO, DE TIEMPO CORTO Y LARGO PARA SELECCION DE EQUIPO Y PROTECCIONES.

LOS DATOS DE IMPEDANCIA DE LOS GENERADORES, MOTORES Y TRANSFORMADORES SON DADOS POR EL FABRICANTE.

LA IMPEDANCIA DE CABLES POR LA TABLA No. 2.

LA IMPEDANCIA DEL SISTEMA QUEDA FIJADO POR LA CIA. SUMINISTRADORA O BIEN POR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DEL INTERRUPTOR QUE ALIMENTA AL CIRCUITO ANALIZADO.

LA IMPEDANCIA DE LOS MOTORES QUE PUEDEN CONTRIBUIR A ALIMENTAR LA FALLA, CONSIDERANDOSE DE LA SIGUIENTE FORMA :

GENERALMENTE PARA MOTORES DE INDUCCION MENORES DE 50 H. P. Y QUE ES IMPRACTICO ELABORAR EL DIAGRAMA DE REACTANCIAS CON TODOS ELLOS, SE CALCULA RA LOS H. P. DE UN MOTOR EQUIVALENTE TOMANDO EL VALOR DE REACTANCIA DE LA SIGUIENTE TABLA :

REACTANCIAS TIPICAS DE MOTORES DE INDUCCION  
EN P. U., BASE KVA DE LA MAQUINA

	X "	X '
ARRIBA DE 600 V .....	0.17	-----
600 V O MENOS .....	0.25 *	-----

- EL VALOR DE X" PARA MOTORES DE 600 V O MENOS HA SIDO INCREMENTADO LIGERAMENTE PARA COMPENSAR EL RAPIDO DECREMENTO DE LA CORRIENTE DE C. C. EN ESTOS PEQUEÑOS MOTORES.

( TOMADA DEL LIBRO ROJO IEEE. PAG. 103 EDIC. 1969 )

EJEMPLOS :

SISTEMAS DE 240 V. 480 V. O 600 V.

DIAGRAMA UNIFILAR

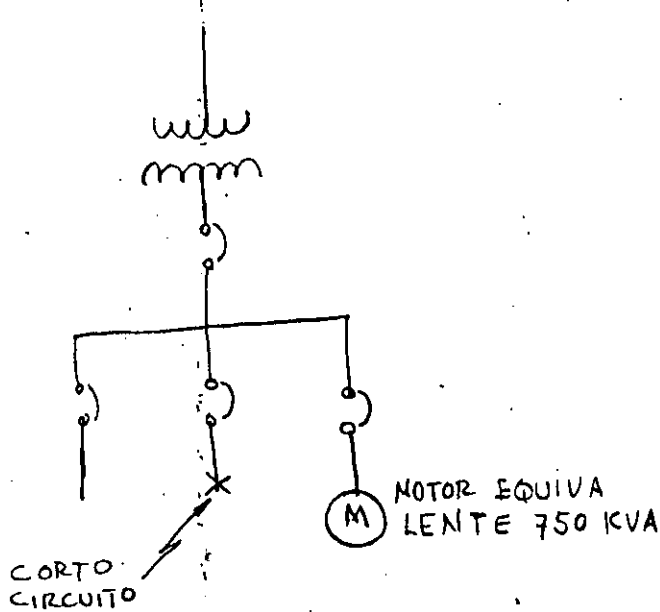
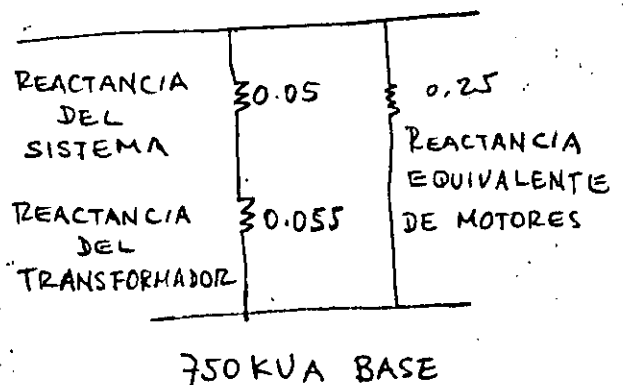


DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



**TABLA 2 RESISTENCIA APROXIMADA REACTANCIA E IMPEDANCIA DE CABLES DE 600 VOLTS EN DUCTOS MAGNETICOS PARA 100 PIES**

TAMAÑO DE CABLE	TRES CONDUCTORES SENCILLOS POR DUCTO, OHMS POR 100PIES		
	R*	X	Z
No. 14 AWG.	0.31350	0.00765	0.31350
No. 12 AWG.	0.1972	0.00710	0.1972
No. 10 AWG.	0.1240	0.00687	0.1240
No. 8 AWG.	0.0779	0.00638	0.0782
No. 6 AWG.	0.0498	0.00598	0.0500
No. 4 AWG.	0.0318	0.00551	0.0322
No. 2 AWG.	0.0203	0.00513	0.0209
No. 1 AWG.	0.0163	0.00500	0.0171
No. 1/0 AWG.	0.0131	0.00495	0.0140
No. 2/0 AWG.	0.0106	0.00490	0.0117
No. 3/0 AWG.	0.00860	0.00486	0.00986
No. 4/0 AWG.	0.00700	0.00482	0.00850
250 MCM.	0.00608	0.00480	0.00778
300 MCM.	0.00520	0.00474	0.00704
350 MCM.	0.00461	0.00469	0.00658
400 MCM.	0.00419	0.00462	0.00625
500 MCM.	0.00359	0.00450	0.00575
750 MCM.	0.00280	0.00438	0.00520

\* BASADA EN 75° C

**TABLA 3 FACTORES DE CORRECCION PARA DUCTOS NO MAGNETICOS**

FACTORES DE CORRECCION DE REACTANCIAS TODOS LOS TAMAÑOS DE CABLE	FACTOR DE CORRECCION DE RESISTENCIAS				
	No. 14 a No. 8 AWG	No. 6 a No. 0 AWG	No. 00 a 250 MCM	300 a 500 MCM	750 MCM
0.8	1.0	0.96	0.93	0.83	0.72

## 4.5.3.- VALORES POR UNIDAD

$$\text{POR UNIDAD} = \frac{\text{UN NUMERO}}{\text{NUMERO BASE}}$$

UN NUMERO BASE ES TAMBIEN LLAMADO VALOR UNIDAD, FRECUENTEMENTE EN EL SISTEMA POR UNIDAD TIENE UN VALOR DE 1 ó UNITARIO, POR LO TANTO EL VOLTAJE BASE PUEDE SER DENOMINADO VOLTAJE UNIDAD.

SIMBOLO : TAL COMO EN UN SISTEMA CUYOS VALORES SE EXPRESAN EN PORCIENTO Y TIENE EL SIMBOLO (%), TAMBIEN EN LOS SISTEMAS POR UNIDAD SE EMPLEA EL SIMBOLO (o/1) PARA REPRESENTAR SUS VALORES.

SELECCION DEL NUMERO BASE.- EN UN SISTEMA EN POR UNIDAD, USADO PARA EXPRESAR PARAMETROS DE VOLTAJE, CORRIENTE E IMPEDANCIA, ES NECESARIO SELECCIONAR UN NUMERO ARBITRARIO PARA :

VOLTS BASE

AMPERES BASE

CON LO ANTERIOR, QUEDAN FIJADOS LOS SIGUIENTES TERMINOS :

$$\text{OHMS BASE} = \frac{\text{VOLTS BASE}}{\text{AMPERES BASE}}$$

$$\text{VOLTS (o/1)} = \frac{\text{VOLTS}}{\text{VOLTS BASE}}$$

$$\text{AMPERES } ( \circ / 1 ) = \frac{\text{AMPERES}}{\text{AMPERES BASE}}$$

$$\text{OHMS } ( \circ / 1 ) = \frac{\text{OHMS}}{\text{OHMS BASE}}$$

EN LA PRACTICA ES MAS CONVENIENTE SELECCIONAR

- VOLTS BASE
- KVA BASE

CON ELLO AUTOMATICAMENTE QUEDAN FIJOS LOS SIGUIENTES VALORES :

PARA SISTEMAS MONOFASICOS

$$\text{AMPERES BASE} = \frac{\text{KVA BASE} \times 1000}{\text{VOLTS BASE}} = \frac{\text{KVA BASE}}{\text{KV BASE}}$$

$$\text{OHMS BASE} = \frac{\text{VOLTS BASE}}{\text{AMPERES BASE}} = \frac{(\text{VOLTS B})^2}{\text{KVA}_B \times 1000} = \frac{(\text{KVB})^2 \times 1000}{\text{KVA}_B}$$

$$\text{OHMS } ( \circ / 1 ) = \frac{\text{OHMS} \times \text{KVA}_B \times 1000}{(\text{VOLTS B})^2} = \frac{\text{OHMS} \times \text{KVA}_B}{(\text{KVB})^2 \times 1000}$$

DONDE LOS KVA BASE Y VOLTS BASE SON MONOFASICOS

ES DECIR  $\text{KVA}_B$  SON DE 1 SOLA FASE Y  $\text{VOLTS}_B$  DE LINEA A NEUTRO.

PARA SISTEMAS TRIFASICOS SE TIENE :

$$I \text{ BASE} = \frac{\text{KVA}_B \times 1000}{3 \times \text{VOLTS}} = \frac{\text{KVA}_B}{3 \text{ KV}_B}$$

$$\text{OHMS } B = \frac{\text{VOLTS}_B}{3 I_B}$$



$$\text{OHMS } (\text{°}/1) = \frac{\text{OHMS} \times \text{KVA}_B \times 1000}{(\text{VOLTS } B)^2} = \frac{\text{OHMS} \times \text{KVA}_B}{(\text{KV}_B)^2 \times 1000}$$

DONDE LOS  $\text{KVA}_B$  SON TRIFASICOS, LOS VOLTS B DE LINEA A LINEA Y LOS OHMS SON POR FASE.

FRECUENTEMENTE LA IMPEDANCIA DE UN CIRCUITO PUEDE ESTAR EXPRESADA EN --- TERMINOS DE LOS  $\text{KVA}_B$  PARTICULAR Y ES DESEABLE EXPRESARLOS EN TERMINOS DE ---  $\text{KVA}_B$  DIFERENTE QUE SEA COMUN ENTONCES.

$$\text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ DE } \text{KVA}_{B2} = \frac{\text{KVA}_{B2}}{\text{KVA}_{B1}} \times \text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ DE } \text{KVA}_{B1}$$

$$\frac{\text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ SOBRE VOLTS } B2}{\text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ SOBRE VOLTS } B1} = \frac{(\text{VOLTS } B1)^2}{(\text{VOLTS } B2)^2}$$

$$\text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ SOBRE VOLTS } B2 = \text{OHMS } (\text{°}/1) \text{ SOBRE VOLTS } B1 \times \frac{(\text{VOLTS}_{B1})^2}{(\text{VOLTS}_{B2})^2}$$

$$\text{OHMS } (\text{°}/1)_{B2} = \text{OHMS } (\text{°}/1)_{B1} \times \frac{\text{KV}_{B1}}{\text{KV}_{B2}} \times \frac{\text{KVA}_{B2}}{\text{KVA}_{B1}}$$

#### 4.6.- EFECTOS DE LAS CORRIENTES DE FALLA EN EQUIPOS Y CAPACIDAD INTERRUPTIVA ( C. i. ) EN DISPOSITIVOS DE DESCONEXION Y CONDUCTORES.

CAPACIDAD INTERRUPTIVA.- ( c.i. ) ES LA CAPACIDAD DE UN EQUIPO PARA LIBRAR O INTERRUMPIR UNA CORRIENTE DEBIDA A UNA FALLA EN UN LAPSO DE TIEMPO DE TERMINADO Y SIN QUE EL EQUIPO SEA DAÑADO, POR ELLO; UNA SELECCION INADECUADA

EN LA PROTECCION DE UN SISTEMA, PUEDE CAUSAR DAÑOS SEVEROS EN LAS INSTALACIONES Y AL PERSONAL MISMO.

LOS CORTOS CIRCUITOS NO CONTROLADOS, PUEDEN CAUSAR QUE EL SISTEMA QUEDE FUERA DE SERVICIO, QUE LA PRODUCCION DE UNA FACTORIA SE VEA AFECTADA SERIAMENTE, SE PUEDEN INTERRUMPIR SERVICIOS VITALES Y PROBABLEMENTE DEGENEREN EN INCENDIOS OCACIONANDO FRECUENTEMENTE MUERTES DEL PERSONAL.

EN PRIMERA INTENCION PODRIA CONSIDERARSE EXAGERADO EL PLANTEAMIENTO ANTERIOR, PERO SI SE ANALIZAN TODOS LOS ASPECTOS AL OCURRIR UN C. C. EN CUALQUIER PUNTO DEL SISTEMA, SE VERA QUE SI NO ES LIBRADO OPORTUNAMENTE, SUCEDE QUE :

- a).- SE CAE EL VOLTAJE EN CIERTA PROPORCION EN TODO EL SISTEMA.
- b).- SE INICIA PROCESO DE COMBUSTION CON TODAS SUS CONSECUENCIAS.
- c).- TODOS LOS COMPONENTES QUE SE VEN AFECTADOS POR EL C. C., QUEDAN SUJETOS A ESFUERZOS TERMO MECANICOS.
- d).- TODAS LAS MAQUINAS ROTATIVAS SE COMPORTAN COMO GENERADORES Y ALIMENTAN A LA FALLA.

POR LO ANTERIOR, ES CLARO QUE SE DEBEN DISPONER EQUIPOS PARA INTERRUMPIR ESTE TIPO DE CORRIENTES MUY RAPIDAMENTE, ANTES DE QUE SE DESCONTROLE EL SISTEMA.

LOS EQUIPOS MAS COMUNMENTE EMPLEADOS PARA ELLO SON LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS Y ELECTROMAGNETICOS DE LOS CUALES EL FABRICANTE PROPORCIONA SUS CARACTERISTICAS Y ENTRE ELLA SU c.i. QUE DEBE SER IGUAL O MAYOR AL C. C. DISPONIBLE EN LOS DIFERENTES PUNTOS DEL SISTEMA PREVIAMENTE SELECCIONADOS.

TABLA No. CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE INTERRUPTORES  
ELECTROMAGNETICOS MARCA F. P. E.

TIPO	MARCO (AMPERES)	VOLTAJE * DEL SISTEMA (VOLTS)	CORTO CIRCUITO TRIFASICO KA SIMETRICOS	
			INSTANTANEO	TIEMPO CORTO
25H-2	600	240	42	22
30H-2	800	240	42	30
50H-2	1600	240	65	50
65H-2	2000	240	65	50
75H-2	3000	240	85	65
100H-2	4000	240	130	85

\* EXISTEN PARA 600 Y 480 V.

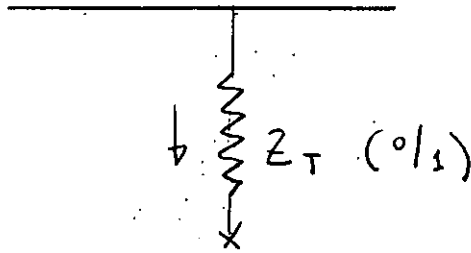
TABLA No. CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE INTS. TERMOMAGNETICOS  
DIFERENTES MARCAS

FABRICANTE	MARCO Y TIPO DE INTERRUPTOR	No. DE POLOS	CAPACIDAD INTERRUPTIVA		
			240 V C.A.*		250 V C D
			KA SIM	KA ASIM	
G.E	TEF-15-100 A	2	18	20	10
	THEF-15-100 A		65	75	20
G.E	TEF-15-100 A	3	18	20	
	THEF-15-100 A		65	75	
F.P.E.	NEF-15-100 A	2	18	20	10
	HEF-15-100 A		65	75	10
F.P.E.	NEF-15-100 A	3	18	20	
	HEF-15-100 A		65	75	
W.H.	FB-15-150 A	2	18	20	10
W.H.	FB-15-150 A	3	18	20	
G.E.	TFK-70-225 A	3	25	30	
F.P.	NFJ-70-225 A	3	25	30	
W.H.	LB-175-225 A	3	25	30	

\* PUEDEN EMPLEARSE PARA 480 V.C.A. Y LOS HAY PARA 600 V.C.A.

ASPECTOS PRACTICOS EN EL CALCULO DE CORTO CIRCUITO

LA MANERA MAS RAPIDA DE SABER EL ORDEN DE LAS CORRIENTES DE C. C. ES CONSIDERANDO AL SISTEMA EN T. COMO "BUS INFINITO" Y APLICANDO LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR.



EJEMPLO. SEA UN TRANSFORMADOR DE 500 KVA CON UNA IMPEDANCIA DEL 5% Y TENSIONES DE 13,800/480 V. ¿ CUAL ES LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO ?

$$I_{\text{NOMINAL}} = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3}kV_L} = \frac{500}{1.732 \times 0.48}$$

$$= 601 \text{ A.}$$

$$I_{\text{c.c.}} = \frac{1}{Z_T} \times I_{\text{NOMINAL}}$$

$$= \frac{1}{0.05} \times 601$$

$I_{\text{c.c.}} = 12,020 \text{ A.}$

( VALOR RMS PARA UN C.C. TRIFASICO, VALOR SIMETRICO )

EN BAJA TENSION EL FACTOR DE ASIMETRIA PUEDE CONSIDERARSE 1.

SI SE QUIERE TENER UNA IDEA SOBRE LA DEGRADACION DE LA CORRIENTE DE C. C. CON LA DISTANCIA DE LOS CABLES, PUEDEN CONSULTARSE LAS TABLAS ANEXAS.

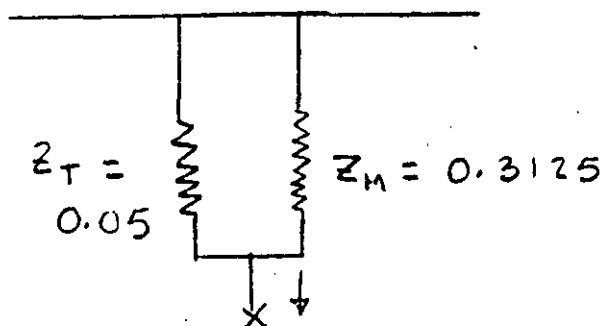
LA REDUCCION DE LA MAGNITUD DEL C. C. ES PARTICULARMENTE IMPORTANTE PARA SABER LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS TABLEROS SECUNDARIOS DE DISTRIBUCION DE FUERZA Y ALUMBRADO.

EN EL CASO DE QUE EXISTA CONTRIBUCION DE MOTORES, SE PUEDE SUMAR LA CAPACIDAD TOTAL EN H.P. DE ELLOS Y HACERLA EQUIVALENTE A VALORES EN KVA. (APROX.) LUEGO SE CONSIDERA EL 25% DE LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE.

POR EJEMPLO, REFERIDO AL EJEMPLO ANTERIOR, SUPONGAMOS UNA CARGA DE 400 HP TOTALES. LA REACTANCIA ( Y EN FORMA PRACTICA, LA IMPEDANCIA ) SERIA :

$$\begin{aligned} Z_{\text{mot}} &= \frac{500}{400} \times 0.25 \\ &= 0.3125 \text{ P.u.} \end{aligned}$$

POR LO QUE EL DIAGRAMA QUEDARIA :



Y LA CORRIENTE DE FALLA SERIA :

$$I_{3 \phi} = \frac{1}{0.05} + \frac{1}{0.3125} \times I_{\text{NOMINAL}}$$

$$I_{3 \phi} = (23.2) \times (601)$$

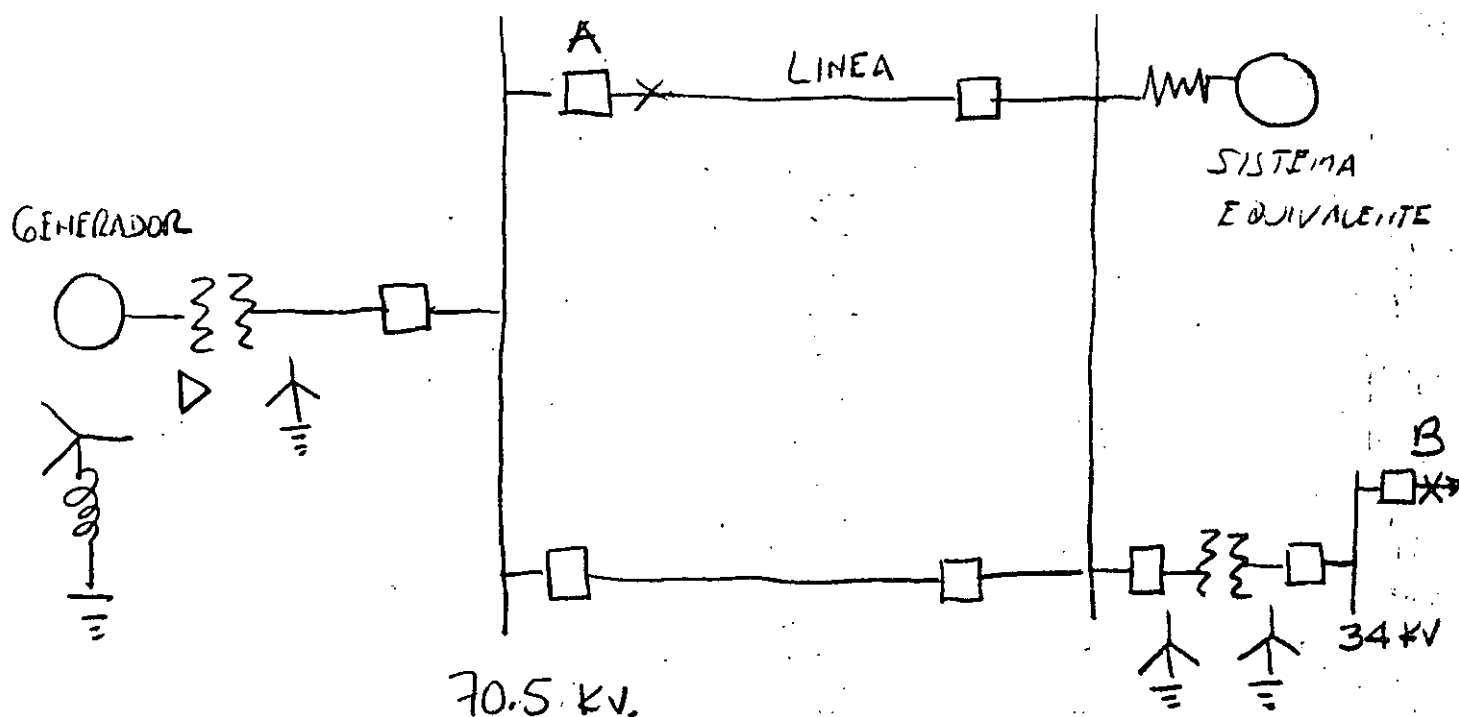
$$I_{3 \phi} = 13,943.0 \text{ A}$$

RECUERDE QUE EL CORTO CIRCUITO EN UN SISTEMA AUMENTA CONFORME LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR CRECE. NO SE OLVIDE QUE EL EQUIPO PARA ALTA CAPACIDAD INTERRUPTIVA ES MUCHO MAS COSTOSO.

SI OPERA LOS TRANSFORMADORES EN PARALELO, CUIDE LA MAGNITUD DEL CORTO CIRCUITO RESULTANTE. DE PREFERENCIA, NO OPERE TRANSFORMADORES EN PARALELO.

EJEMPLO DE CALCULO DE CORTO CIRUITO  
DESTINADO A LA SELECCION DE INTERRUPTORES DE  
POTENCIA. BASADO EN LA NORMA ANSI-IEEE C37.5-1979.

SE PROPONE EL SISTEMA :



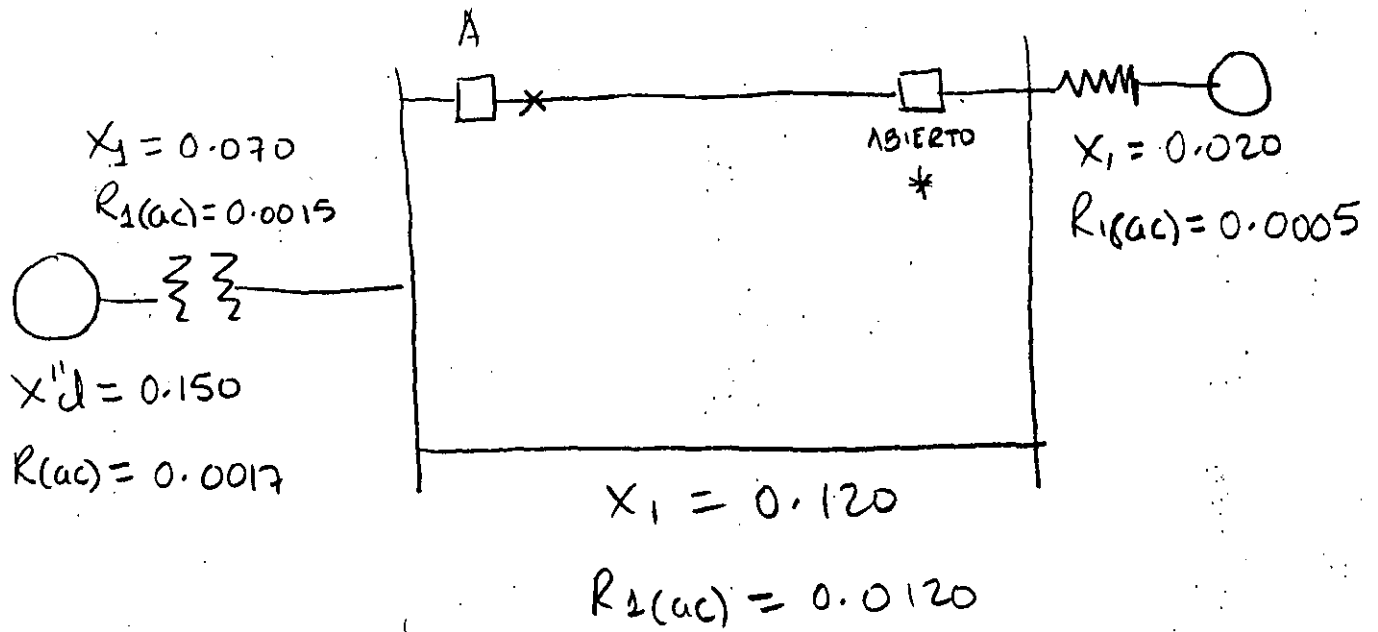
Enseguida se presenta las impedancias de secuencia positiva (y negativa también) Incluye resistencias y reoactancias. Los bases son 3

$$\text{Potencia Base} = 100\,000 \text{ KVA}$$

$$\text{Voltaje Base} = 69 \text{ KV}$$

$$\text{Corriente Base} = \frac{100\,000}{\sqrt{3} \cdot 69} = 837 \text{ Amp}$$





\* CON ESTE INTERRUPTOR ABIERTO SE TIENE LA PEOR CONDICION PARA EVALUAR EL INTERRUPTOR "A".

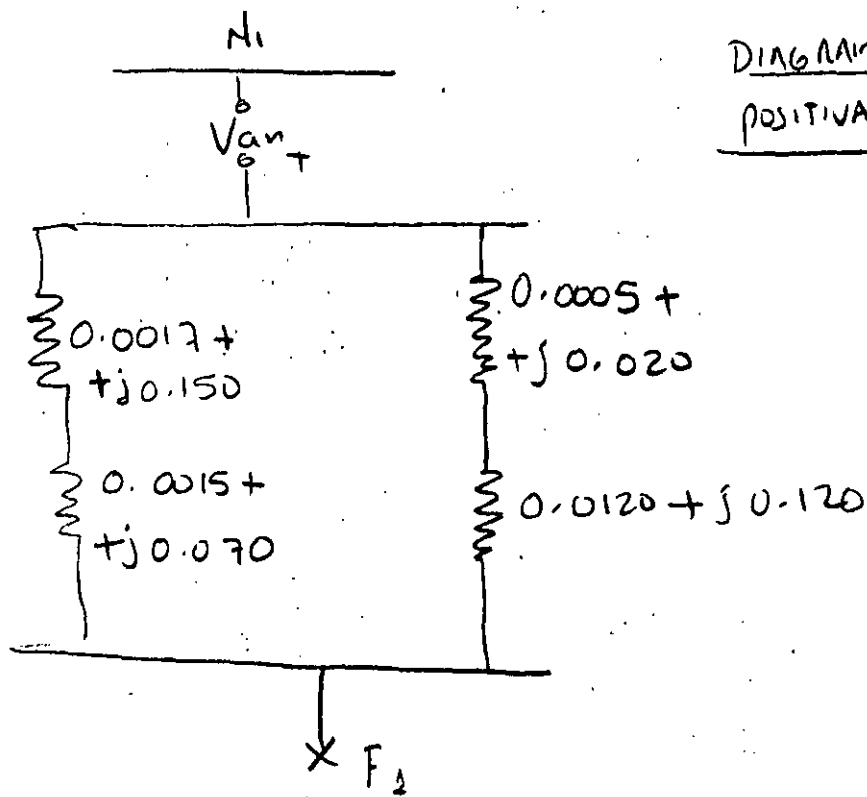


DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA.

UNA APROXIMACION PRACTICA CONSISTE EN CALCULAR LA RESISTENCIA TOTAL DE LA MALLA, ASUMIENDO QUE LA REACTANCIA ES CERO Y CALCULAR LUEGO LA REACTANCIA TOTAL (OPERANDO LOS CIRCUITOS SERIE, PARALELO O DELTA-ESTRELLA) CONSIDERANDO QUE LAS RESISTENCIAS SON CERO. ESTO DA UNA APROXIMACION CARGADA DEL LADO CONSERVADOR DEL CALCULO.

$$X_{I \text{ TOTAL}} = \frac{(0.150 + 0.070)(0.020 + 0.120)}{(0.150 + 0.070) + 0.020 + 0.120}$$

$$X_{I \text{ TOTAL}} = 0.0856$$

$$R_{I \text{ TOTAL}} = \frac{(0.0017 + 0.0015)(0.0005 + 0.0120)}{(0.0017 + 0.0015 + 0.0005 + 0.0120)}$$

$$R_{I \text{ TOTAL}} = 0.00255$$

PARA SABER EL VALOR DEL CORRIENTE CIRCUITO TRIFASICO SE UTILIZA LA IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA. EL VOLTAJE MAXIMO EN EL PUNTO DE FALLA ES 70.5 KV LINEA-LINEA, POR LO QUE EN POR UNIDAD ES:

$$E.P.U. = \frac{70.5}{69} = 1.022$$

# LA CORRIENTE PARA UNA FALLA TRIFÁSICA:

5-65

$$I_{3\phi} = \frac{1.022}{0.0856} \times 837 = \underline{9990 \text{ A}}$$

SE CONSIDERA AQUI UN INTERRUPTOR DE 5 CICLOS DE TIEMPO TOTAL DE APERTURA Y UN TIEMPO DE PARTIDA DE CONTACTOS (CONTACT PARTING TIME) DE 3 CICLOS (BASE DE 60 CICLOS). DADO QUE EL INTERRUPTOR SE ENCUENTRA A SOLO UNA TRANSFORMACION DE LA GENERACION, EL VALOR DE CORRIENTE ENCONTRADO DEBE DE MULTIPLICARSE POR UN FACTOR QUE SE OBTIENE DE LA FIGURA 1 ANEXA.

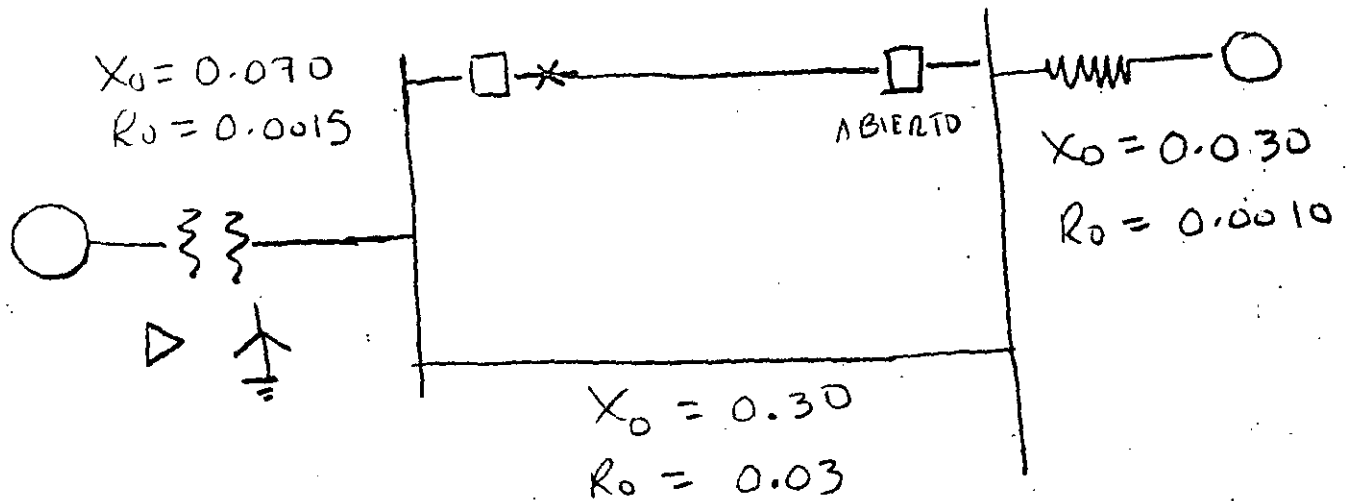
$$\text{RELACION } \frac{X}{R} = \frac{0.0856}{0.00255} = 33.6$$

EL FACTOR QUE SE OBTIENE ES 1.14, POR LO QUE LA CORRIENTE A EVALUAR ES:

$$9990 \times 1.14 = \underline{11,400 \text{ A}}$$

ANTES DE COMPARAR ESTA CORRIENTE CON LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DEL INTERRUPTOR, SE CALCULA LA FALLA DE LINEA A TIERRA PARA VER SI ES MAYOR O MENOR (RECORDAMOS QUE SE TRATA DE UN SISTEMA EN ALTA TENSION, NO INDUSTRIAL)

SE PLANTEA EL DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO. 5-66



$$X_{0\text{TOTAL}} = \frac{(0.070)(0.030 + 0.300)}{(0.070 + 0.030 + 0.300)}$$

$$X_{0\text{TOTAL}} = 0.0578$$

$$R_{0\text{TOTAL}} = \frac{(0.0015)(0.0010 + 0.0300)}{(0.0015 + 0.0010 + 0.0300)}$$

$$R_{0\text{TOTAL}} = 0.00143$$

$$\text{RELACION } \frac{X}{R} = \frac{2X_1 + X_0}{2R_1 + R_0} = \frac{2 \times 0.0856 + 0.0578}{2 \times 0.00255 + 0.00143}$$

$$\text{RELACION } \frac{X}{R} = 35.1$$

$$I_{\phi-T} = \frac{3 \times 1.022}{2 \times (0.0856) + 0.0578} \times 837 = 11,200 \text{ A}$$

DE ACUERDO A LA FIGURA 2 ANTERA,  
 LA CORRIENTE  $I_{\phi-T}$  CALCULADA DEBE MULTIPLICAR-  
 SE POR UN FACTOR DE 1.25 PARA OBTENER  
 LA CORRIENTE DE FALLA TOTAL AL TIEMPO EN QUE  
 LOS CONTACTOS DEL INTERRUPTOR ESTAN PARTIENDO. LA  
 CORRIENTE QUE DEBERA SER COMPARADA CON LA  
 CAPACIDAD INTERRUPTIVA DEL INTERRUPTOR A ES:

$$\underline{11,200 \times 1.25 = 14,000 \text{ A.}}$$

ESTA EXCEDE A LA DE LA FALLA TRIFASICA,  
 POR LO QUE ESTE ULTIMO VALOR ES EL QUE DEBE  
 DE TOMARSE EN CUENTA PARA LA SELECCION DEL  
 INTERRUPTOR.

### CALCULO DE FALLA PARA "CAPACIDAD MOMENTANEA"

EL VALOR MAS ALTO QUE SE DEBE TOMAR  
 COMO BASE ES EL DE LA FALLA MONOFASICA :

$$I_{\phi-T} = 11,200 \text{ A}$$

UN MULTIPLICADOR DE 1.6 DA LA CAPACIDAD  
 MOMENTANEA A SER COMPARADA CON LA DEL INTERRUPTOR.

DEBE DE COMPARARSE CON EL DEL INTERRUPTOR A SELECCIONAR. (EL FACTOR DE 1.6 A APLICAR PARA SELECCIONAR LA CAPACIDAD MOMENTANEA, ES GENERAL PARA TODOS LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA EN ALTA Y MEDIA TENSION).

SELECCION DEL INTERRUPTOR "A"

EL INTERRUPTOR SE SELECCIONARA A PARTIR DE LOS VALORES NOMINALES NORMALIZADOS DE LA NORMA ANSI C37.6 - 1971 "SCHEDULES OF PREFERRED RATINGS FOR A.C. HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A TOTAL CURRENT BASIS"

EL INTERRUPTOR DE 69 KV EN ACEITE TIPO EXTERIOR MENCIONADO EN LAS NORMAS TIENE UNA CAPACIDAD INTERRUPTIVA TRAFASICA DE 5000 MVA. EL MAXIMO VOLTAJE DE DISEÑO ES 72.5 KV Y EL MINIMO ES DE 66 KV Y EL TIEMPO DE INTERRUCCION ES DE 5 CICLOS. LA CORRIENTE NOMINAL ES DE 2000A.

EL INTERRUPTOR TIENE 42000 A. DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA A VOLTAGE NOMINAL. LA MAXIMA CAPACIDAD INTERRUPTIVA A 66 KV ES 44000 A. LA CAPACIDAD A 70.5 KV ES 41000A Y SE

ENCUENTRA A PARTIR DE MULTIPLICAR 42000 A. POR LA RELACION DE VOLTAJE NOMINAL (69 KV) AL MAXIMO VOLTAJE DE OPERACION (70.5 KV).

LA CAPACIDAD MOMENTANEA DE ACUERDO A NORMAS DE ESTE INTERRUPTOR ES 70000 A., LA QUE SOBREPASA CON MUCHO QUE LA MAXIMA CORRIENTE MOMENTANEA CALCULADA DE 17,900 A.

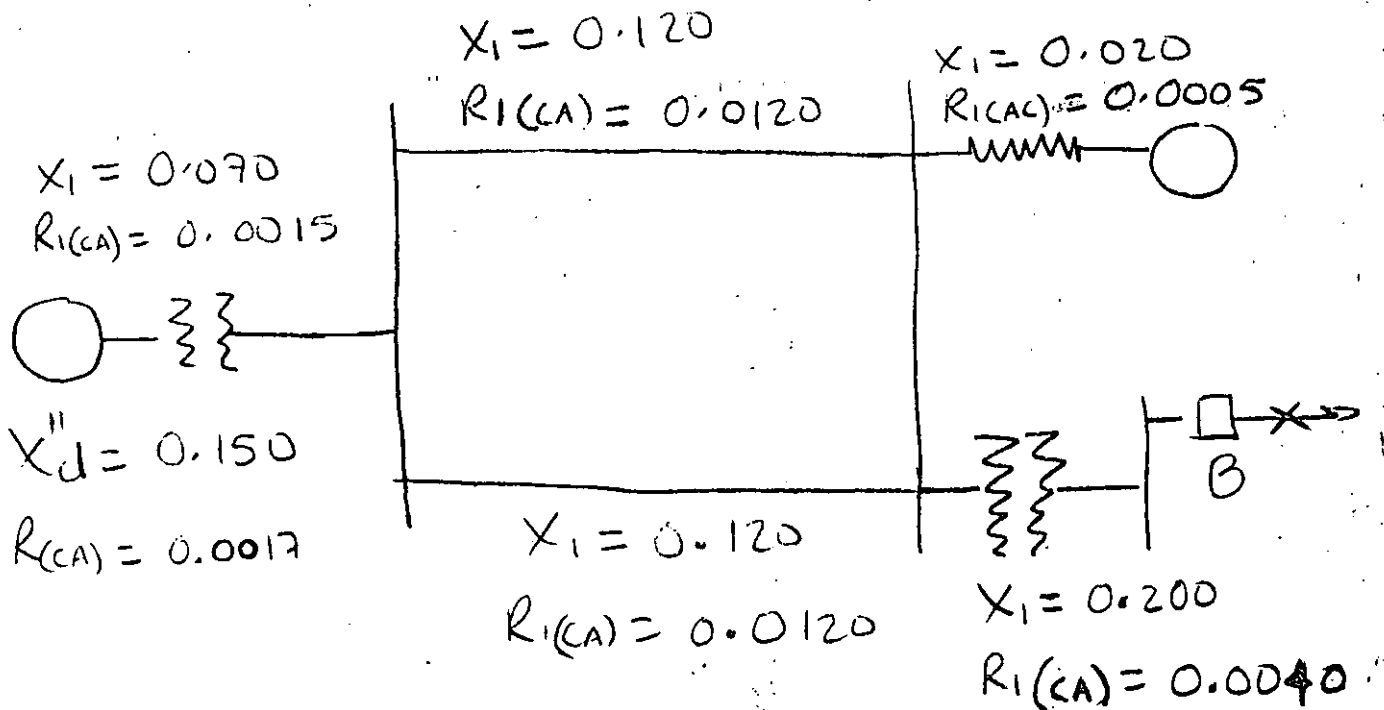
LA SIGUIENTE TABLA MUESTRA LA COMPARACION DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO CALCULADA CONTRA LAS CAPACIDADES DEL INTERRUPTOR, MOSTRANDO QUE ESTAS SON MAYORES QUE LAS CORRIENTES CALCULADAS.

FALLA	CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO CALCULADAS (KA)			CAPACIDAD INTERRUPTIVA DEL INTERRUPTOR (KA)	
	E/x	FACTOR x/R	E/x AJUSTADA	A VOLTAJE NOMINAL	A VOLTAJE DE OPERACION
TRIFASICA	9.99	1.14	11.40	40	41
MONOFASICA A TIERRA	11.20	1.25	14.00	40	41

INTERRUPTOR B

# CALCULO DE FALLA TRIFASICA

EL DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS.



$$X_1 = \frac{(0.150 + 0.070 + \frac{0.120}{2})(0.020)}{(0.150 + 0.070 + \frac{0.120}{2} + 0.020)} + 0.200$$

$$X_1 = 0.219$$

$$R_1 = \frac{(0.0017 + 0.0015 + \frac{0.0120}{2})(0.0005)}{(0.0017 + 0.0015 + \frac{0.0120}{2} + 0.0005)} + 0.0040$$

$$R_1 = 0.00447$$



$$KV_{BASE} = 34.5$$

$$A_{BASE} = 1670$$

EL VALOR DE VOLTAJE EN EL PUNTO DE OPERACION ES 34 KV LINEA-LINEA, POR LO QUE ESTE VALOR EN POR UNIDAD SERA:

$$E.p.u. = \frac{34}{34.5} = 0.986$$

Y LA FALLA TRIFASICA:

$$I_{3\phi} = \frac{0.986}{0.219} \times 1670 = 7520 \text{ A.}$$

LA RELACION X/R:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{0.219}{0.00447} = 49.0$$

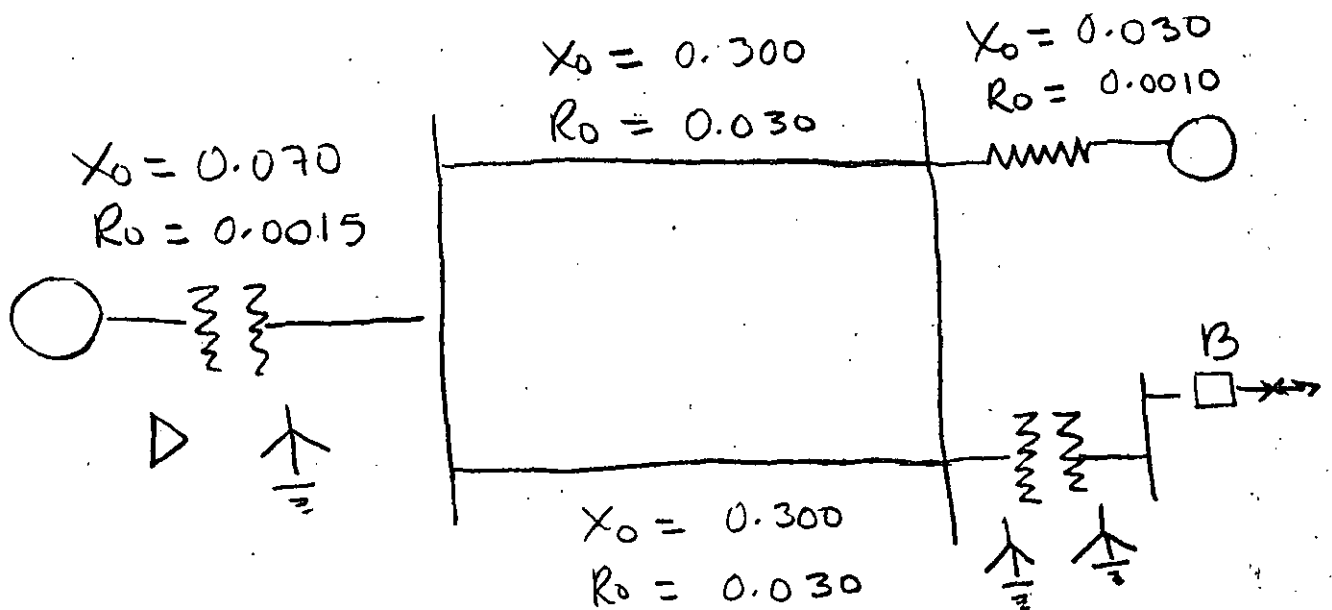
CONSIDERANDO UN INTERRUPTOR DE 8 CICLOS CON UN TIEMPO MÍNIMO DE PARTIDA DE CONTACTOS DE 4 CICLOS Y DADO QUE EL INTERRUPTOR SE ENCUENTRA REMOTAMENTE DEL LUGAR DE GENERACION CON MAS DE UNA TRANSFORMACION DE POR MEDIO, LA RELACION (E/X) CALCULADA DEBERA DE SER MULTIPLICADA POR UN

FACTOR SACADO DE LA FIGURA N° 3, DE 1.31  
 LA CORRIENTE RESULTANTE ES ?

$$7520 \times 1.31 = 9850.$$

FALLA DE LINEA A TIERRA, INTERRUPTOR "B"

SE NECESITA EL DIAGRAMA DE LAS REACTANCIAS DE SECUENCIA CERO:



$$X_0 = \frac{(0.070 + \frac{0.300}{2})(0.030)}{(0.070 + \frac{0.300}{2} + 0.030)} + 0.200$$

$$X_0 = 0.200$$

$$R_0 = 0.0040$$

$$X_0 = 0.226$$

$$R_0 = \frac{\left(0.0015 + \frac{0.0300}{2}\right) (0.0010)}{\left(0.0015 + \frac{0.0300}{2} + 0.0010\right)} + 0.0040$$

$$R_0 = 0.00494$$

LA CORRIENTE DE FALLA:

$$I_{\phi-T} = \frac{3 \times 0.986}{2(0.219) + 0.226} \times 1670$$

$$I_{\phi-T} = 7440$$

LA RELACION (X/R):

$$\frac{2X_1 + X_0}{2R_1 + R_0} = \frac{2 \times 0.219 + 0.226}{2 \times 0.00447 + 0.00494}$$

$$= \boxed{47.8}$$

DE LA FIGURA N° 3 ANEXA, EL FACTOR DE MULTIPLICACION ES 1.30 PARA OBTENER LA CORRIENTE TOTAL AL MOMENTO QUE LOS CONTACTOS COMIENZAN A SEPARARSE, LA CORRIENTE QUE SE DEBERA DE COMPARAR

CON LA DEL INTERRUPTOR ES :

$$7440 \times 1.3 = \underline{9670 \text{ A}}$$

PARA LA LOCALIZACION "B", LA FALLA TRIFASICA EXCEDE A LA FALLA MONOFASICA A TIERRA, POR LO QUE LOS VALORES DE LA FALLA TRIFASICA DEBERAN EMPLEARSE PARA VERIFICAR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA Y MOMENTANEA DEL INTERRUPTOR EN "B".

### CAPACIDAD "MOMENTANEA"

APLICANDO EL VALOR DE LA FALLA TRIFASICA Y USANDO UN MULTIPLICADOR DE 1.6, UNA CORRIENTE CALCULADA DE  $7520 \times 1.6 = 12,030 \text{ A}$ . ES LA QUE DEBERA COMPARARSE CON EL VALOR NOMINAL DE CORRIENTE MOMENTANEA DEL INTERRUPTOR

### SELECCION DEL INTERRUPTOR "B"

SE APLICA LA NORMA ANSI (37.6-1971); PARA UN INTERRUPTOR DE 34.5 KV TIPO EXTERIOR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA NOMINAL ES 2500 MVA EL MAXIMO VOLTAJE DE DISEÑO ES 38 KV Y EL

VOLTAJE MÍNIMO PARA LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA NOMINAL ES 24 KV, Y EL TIEMPO DE INTERRUPTIÓN ES 8 CICLOS; LA CORRIENTE NOMINAL ES 2000 A.

EL INTERRUPTOR TIENE UNA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORRIENTE DE 42000 A A VOLTAJE NOMINAL Y A 24 KV ESA CAPACIDAD DE CORRIENTE ES:

$$\frac{2500}{24} = \underline{60 \text{ KA}}$$

A LA TENSION DE OPERACION DE 34 KV ESTA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORRIENTE ES:

$$\frac{34.5}{34} \times 42 = 42.6 \text{ KA.}$$

(LA TABLA SIGUIENTE MUESTRA LA COMPARACION ENTRE LAS CAPACIDADES DEL INTERRUPTOR Y LA DEL CORTO CIRCUITO. EN CUANTO A LA CAPACIDAD MOMENTANEA, EL INTERRUPTOR TIENE UNA DE 96 KA QUE ES MUCHO MAYOR QUE LA DE 12.03 KA.

FALLA	CORTO CIRCUITO CALCULADO (KA.)			CAPACIDAD INTERRUPTIVA DEL INTERRUPTOR (KA)	
	(I/x)	FACTOR (X/R)	(E/x) CORREGIDO	A VOLTAJE NOMINAL MAXIMO	A VOLTAJE DE OPERACION.
TRIFASICA	7.52	1.31	9.95	38	42.6
MONOFASICA A TIERRA	7.44	1.30	9.67	38	42.6

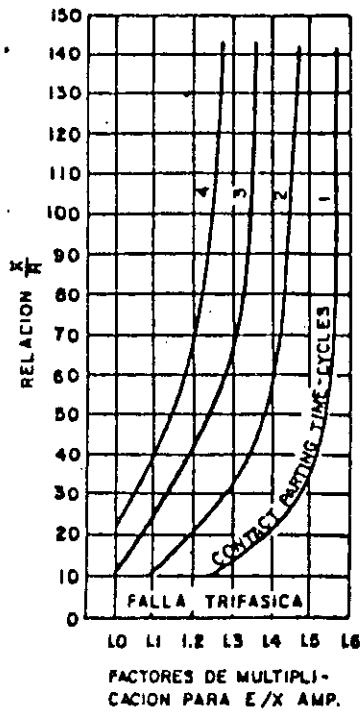


FIG. 1

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA FALLA TRIFASICA INCLUYENDO EFECTOS POR EL DECREMENTO DE C.A. Y C.D.

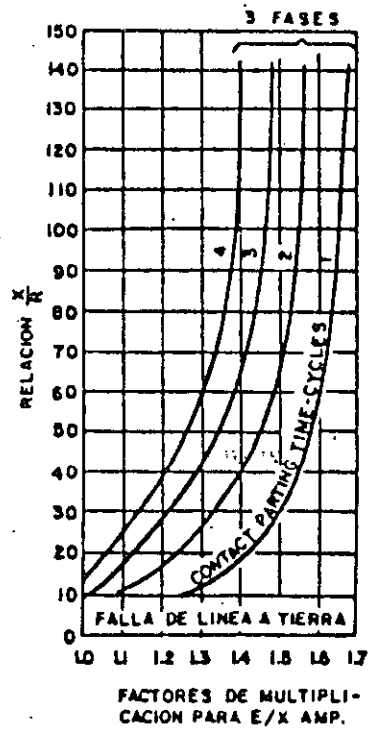


FIG. 2

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA FALLAS DE LINEA A TIERRA INCLUYENDO EFECTOS POR EL DECREMENTO DE C.A. Y C.D.

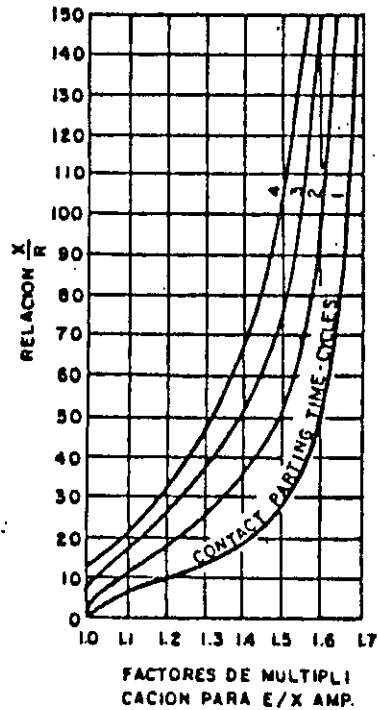
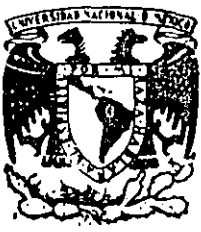


FIG. 3

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA FALLA TRIFASICA Y DE LINEA A TIERRA INCLUYENDO EFECTOS POR EL DECREMENTO DE C.A. Y C.D.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

COMPLEMENTO 2 DEL TEMA 8: "CALCULO DE FALLAS"

ING. ANDRES D. CHAVEZ SAÑUDO

MAYO, 1985

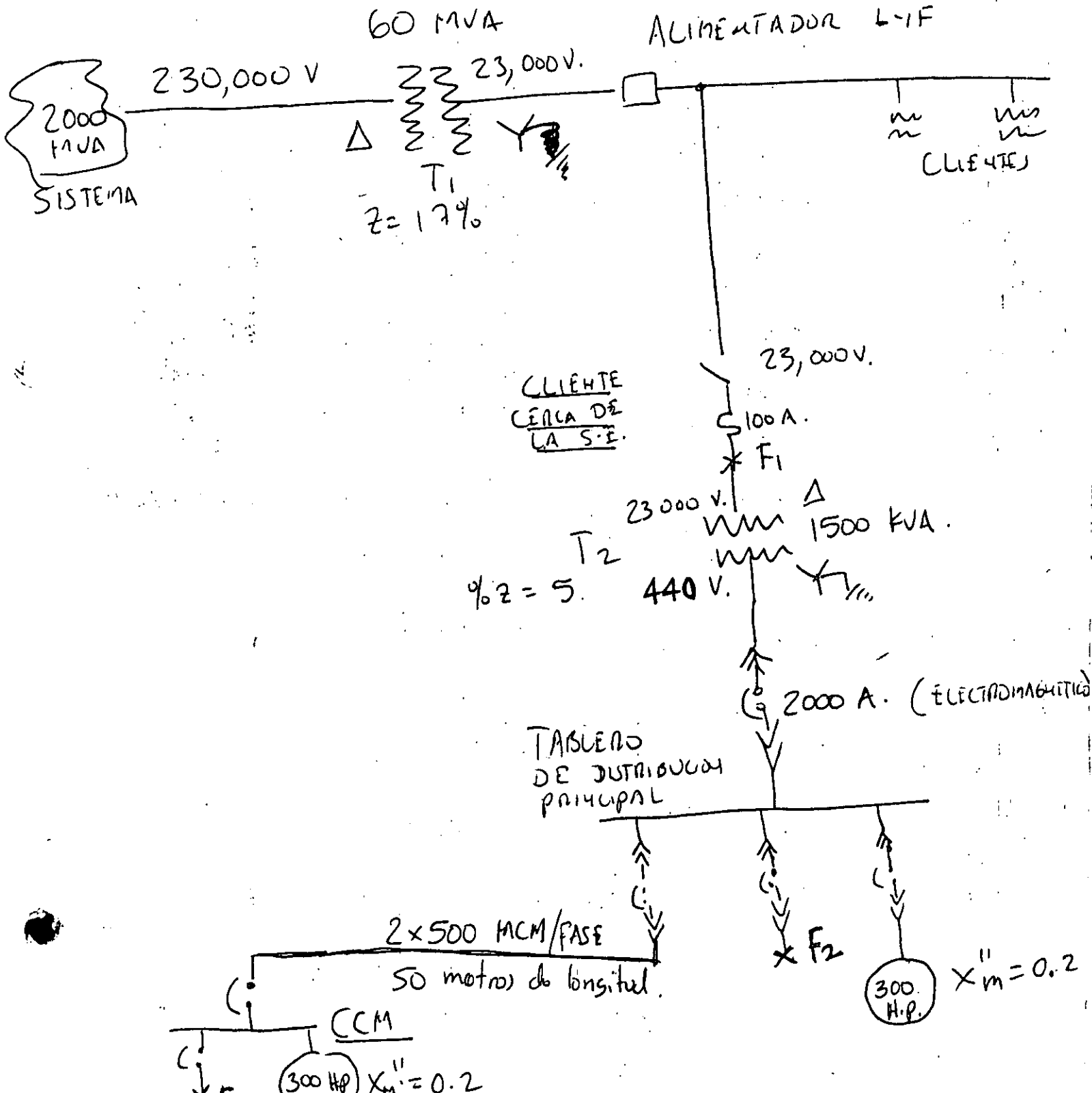
# EJEMPLO SIMPLIFICADO DE CALCULO DE CORTO CIRCUITO

2

Sept, 1984

Proporcion. A. Chaves

1/2





## BASES:

3

$$KVA_{B1} = 60,000$$

$$KVA_{B2} = 1500$$

$$KV_{B1} = 23$$

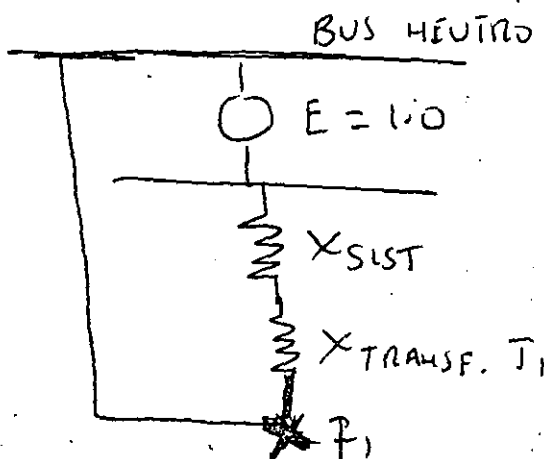
$$KV_{B2} = 0.48$$

## CALCULO DE IMPEDANCIAS

Se considera — por simplicidad del ejemplo — que no existen ángulos entre resistencias y reactivas, para poder sumarlas algebraicamente. En un ejemplo real si debe de considerarse este aspecto y los datos para su cálculo aparecen en el anexo de General Electric, o en el Libro Rojo del IEEE.

## FALLA EN F<sub>1</sub> (TRIFASICA)

Diagrama de Secuencia positiva.



$$X_{SIST} = \frac{60,000}{2,000,000} = \underline{0.03}$$

simplificado (SPT/CA)

$$X_{T1} = \underline{0.17} \quad (\text{Buso } 60,000 \text{ kVA})$$

$$I_{HOM} = \frac{60,000}{\sqrt{3} \times 23} = \underline{\underline{1506 \text{ A.}}}$$

$$I_{3\phi (011)} = \frac{1}{X_{SIST} + X_{T1}} = \frac{1}{0.03 + 0.17}$$

$$I_{3\phi (011)} = \frac{1}{0.2} = \underline{\underline{5.0 \text{ p.u.}}}$$

$$I_{3\phi F1} = (1506)(5.0) = \underline{\underline{7530 \text{ A.}}}$$

(Amps Simétricos)

Como se trata de evaluar un fusible de Media Tensión tipo limitador de corriente, el factor de asimetría será de 1.6.

$$I_{3\phi F1} = (1.6)(7530) = 12,048$$

(Ampers Asimétricos)

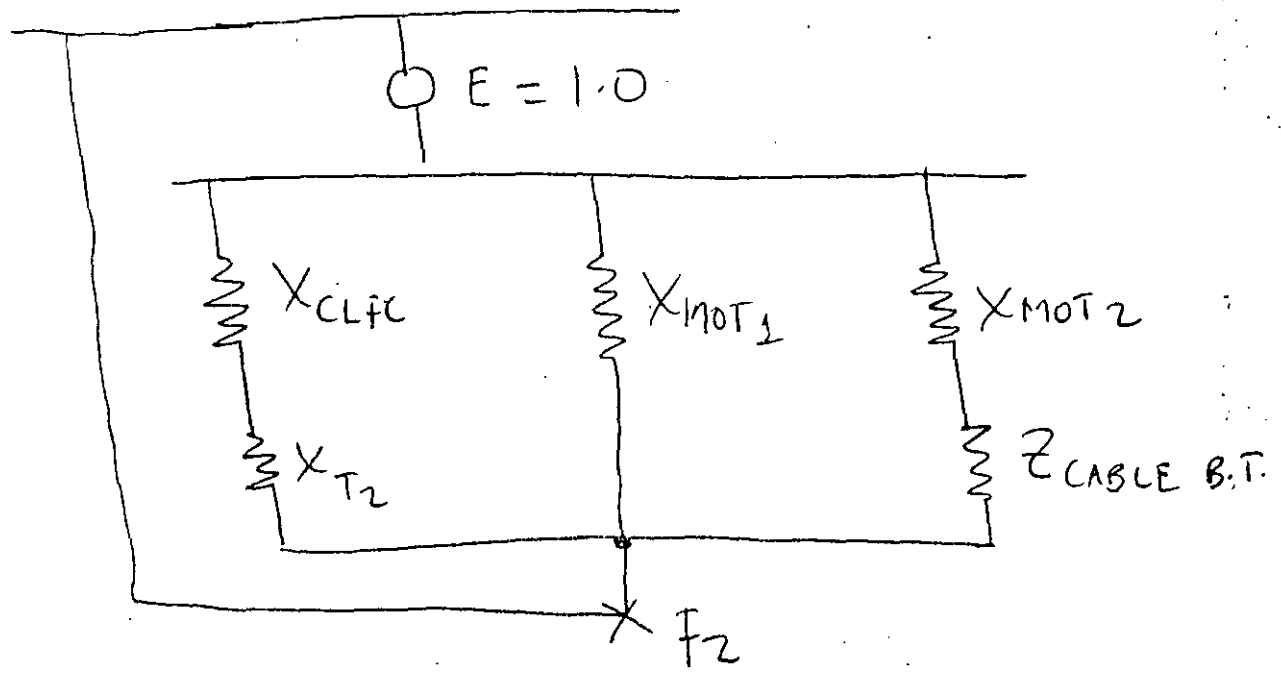
En MVA:

$$MVA_{3\phi} = \sqrt{3} (23)(12,048) = \underline{\underline{479,944 \text{ MVA}}}$$

ASIM.

# Falla en F2

Diagrama de Sec. (+)



X<sub>CLFC</sub>. Por simplicidad en el diagrama se considera que en una sola reactancia representamos el valor de la falla en F<sub>1</sub>, de 479.944 MVA.

$$X_{CLFC} = \frac{1500}{479,944} = 0.003125 (\%)$$

$$X_{T2} = 0.05 \quad (\text{BASE } 1500 \text{ KVA})$$

$$Z_{M1} = Z_{M2} \quad \begin{matrix} 1 \text{ H.P.} \approx 1 \text{ KVA} \\ \% Z = 20 \end{matrix}$$

$$Z_{M1} = Z_{M2} = \frac{1500}{300} \times 0.2 = 1.0 (\%)$$

$$Z_c = 0.0464 \text{ } \Omega / 1000 \text{ pies. (Nom 500mm)} \\ \text{(Ver Anexo de General Electric)}$$

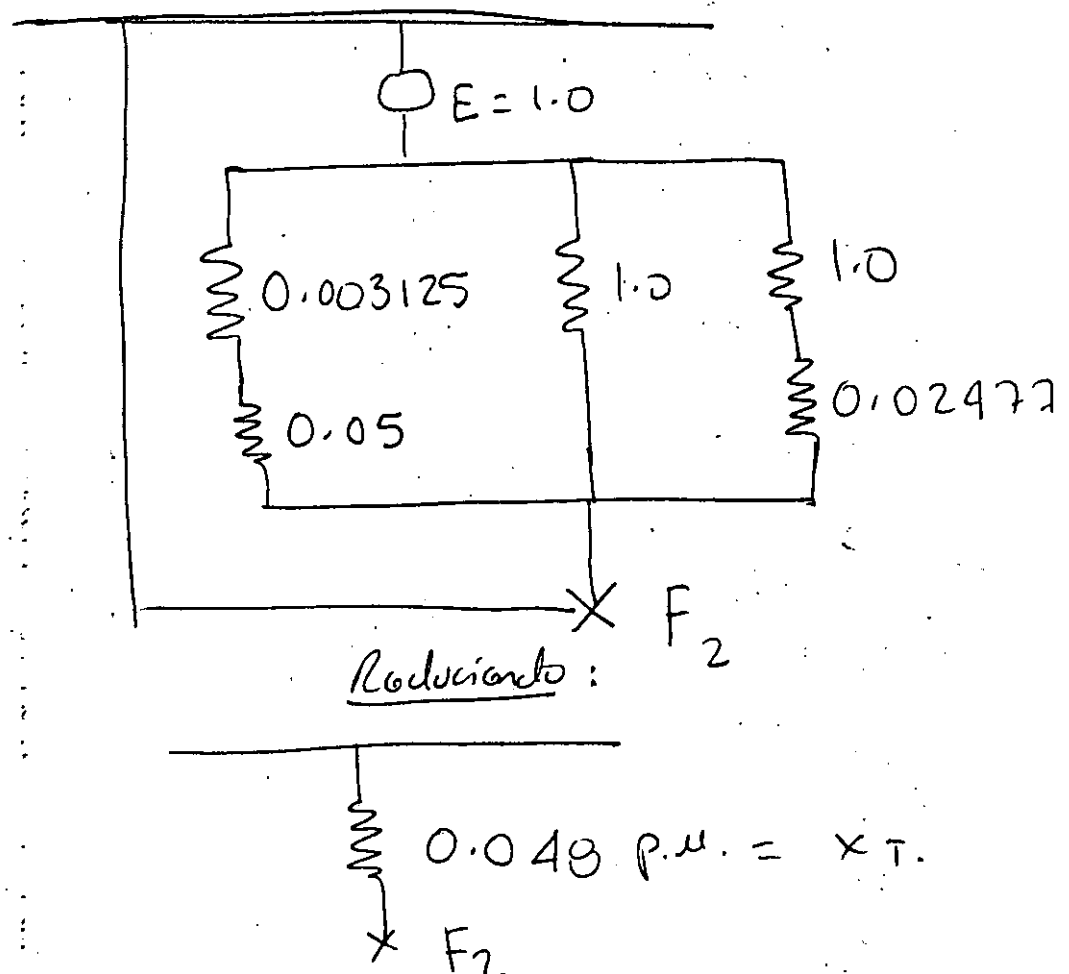
$$Z_c = 0.0464 \times \frac{50 \text{ m.}}{304.8 \text{ m.}} \times \frac{1}{2}$$

↓  
(dos cables x fase)

$$Z_c = 0.003805 \text{ (ohms)}$$

$$Z_c(\%) = 0.003805 \times \frac{1500}{(0.48)^2 \times 1000}$$

$$Z_c(\%) = 0.02477$$



$$\bar{I}_{40M} = \frac{1500^7}{\sqrt{3} (0.44)} = 1968$$

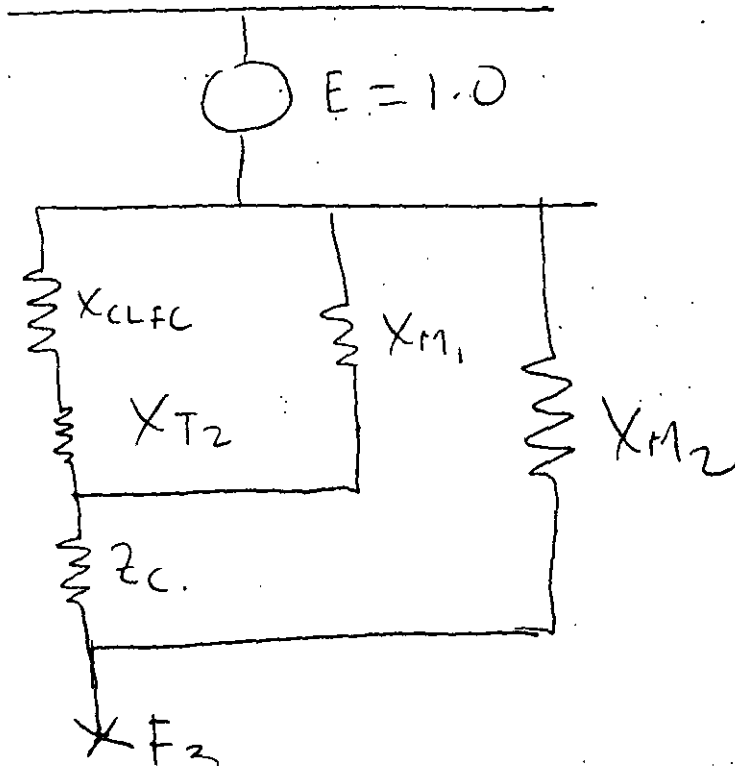
(6/7)

$$\bar{I}_{3\phi(0/1)} = \frac{1}{0.048} = 20.83$$

$$\bar{I}_{3\phi F_2} = (20.83)(1968) = 40,993 \text{ Amp Sim.}$$

El factor de asimetría se considera 1.0 en baja tensión.

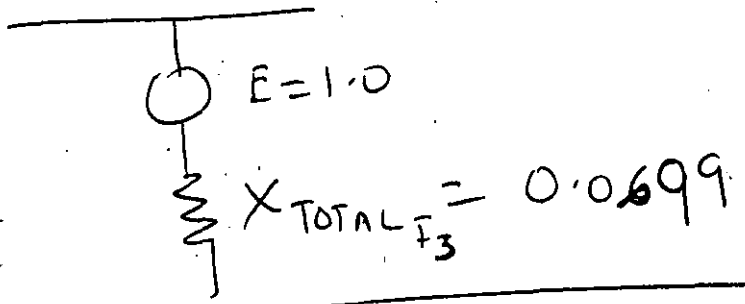
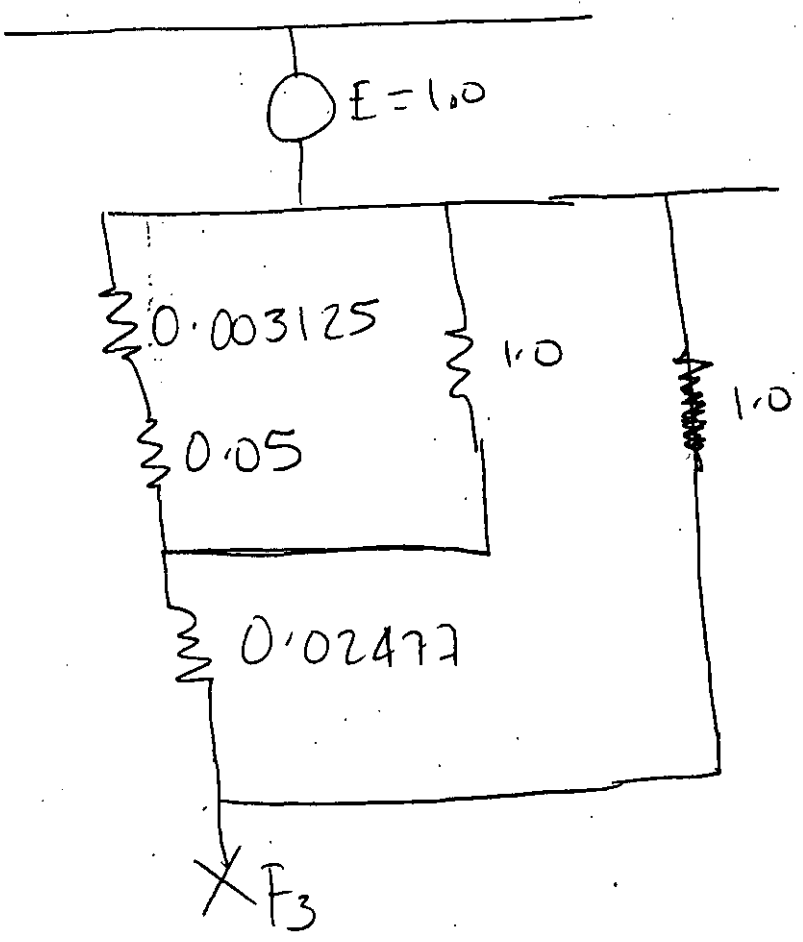
Falla en F<sub>2</sub>.



Corto  
 Circuito  
 ejemplo  
 Simplificado

7/7

8



$$I_{3\phi} = \frac{1}{0.0699} \times 1968 = 28,136 \text{ (Amps Simétricos)}$$

# Table of Contents

	Page
<b>Preface</b>	3
<b>Section I—The Nature of ac Short-circuit Currents</b>	
Introduction	4
Sources of Short-circuit Currents	4
Symmetrical and Asymmetrical Short-circuit Currents	6
Calculation of Short-circuit Currents	9
Selection of Equipment with Adequate Short-circuit Ratings	12
<b>Section II—The Details of Short-circuit Calculations</b>	
Introduction	14
Step-by-step Procedures for Short-circuit Calculations	14
Preparation of the Impedance Diagram	15
Determination of Short-circuit Currents	19
Means for Reducing Short-circuit Current	20
<b>Section III—Examples of ac Short-circuit Calculations</b>	
Introduction	21
Example One: The Industrial Power System	21
Example Two: The Building Power System	25
Example Three: Computer Time Sharing	29
Example Four: Tables and Curves for Estimating Short-circuit Duty	29
<b>Appendix</b>	
Introduction	
<b>Part I—Estimated Short-circuit Duties</b>	
Table 4 —Substation Transformers	32
Table 5 —Distribution Transformers	33
Table 6 —Padmount Transformers	34
Table 7 —“QHT” Transformers	35
Figure 25 —Low-voltage Feeder	35
<b>Part II—Impedance Data</b>	
Table 8 —Primary Substation Transformers	41
Table 10 —Network Transformers	41
Table 11 —Distribution Transformers for Overhead Service	42
Table 12 —Distribution Transformers—Three Phase Pad Mounts	42
Table 13 —Integral Distribution Centers	43
Table 14 —Dry-type Transformers Type “QHT”	43
Table 15 —Standard Current-limiting Reactors	43
Table 16 —Machine Reactances	43
Table 17 —Grouped Small Motors	43
Table 18 —Synchronous Machines	43
Table 19 —Cables	44
Table 20 —Busway Impedances	45
Figure 26 —Conductor Constants	46
<b>Part III—Short-circuit Ratings of ac Equipment</b>	
Table 21 —Molded-case Breakers	49
Table 22 —Power Circuit Breakers	51
Table 23 —Fused Power Circuit Breakers	51
Table 24 —Fusible High-pressure Contact Switches	51
Table 25 —Fusible Switch	51
Table 26 —Current-limiting Fuses	51
Table 27 —Recommended CLF Fuses for Molded-case Breaker Protection	52
Table 27-1 —Recommended CLF Fuses for Molded-case Breaker Protection	53
Table 28 —Short-circuit Applications for Individually Mounted Combination Motor Starters	53
Table 29 —Downstream Circuit Breaker Protection Using TRI-BREAK	54
Table 30 —Medium-voltage Motor Starters	54
Table 31 —Motor Control Centers	54
Table 32 —Bus Bracing Combination Motor Control Unit Recommendations for Ac Applications	55
Table 33 —Busway Short-circuit Ratings	56
Table 34 —Current-limiting Fuses for Protecting Busway	56

Table of Contents (Cont'd)

Table 35 --Power Circuit Breaker Characteristics, Symmetrical Rating Basis .....  
 Table 35-1--Power Circuit Breaker Characteristics, Total Current Rating Basis .....  
 Table 36-1--Fusible Stationary Air-interrupter Switch Equipment, Unfused General Ratings .....  
 Table 36-2--Fault Interrupting Ratings with GE Type EJ Current-limiting Fuses .....  
 Table 36-3--Fault Interrupting Ratings with Expulsion-type Power Fuses .....  
 Table 37 --Metal-enclosed Load-interrupter Switch Rollout--Type SEF .....  
 Table 38 --Current-limiting Fuses .....  
 Table 39 --Reclosers--Type OR .....  
 Table 40 --Power Circuit Breakers--Type FKD .....  
 Table 41 --Vacuum Reclosers--Type VIR .....  
 Table 42 --Vacuum Breakers--Type VIB .....  
 Table 42-1--Application .....  
 Table 42-2--Ratings .....  
 Table 43 --Panelboard Motor-control .....  
 Table 44 --Switchboards, Type AV and POWER-BREAK .....  
 Table 45 --Switchgear, Type AKD-5 .....  
 Table 46 --Automatic Transfer Switches .....  
 Table 47 --Safety Switches .....

Part IV--Analytical Techniques

Per-unit System .....  
 Methods for Combining Reactances .....  
 Complex Quantity Manipulation .....  
 Delta-Y and Y-Delta Impedance Conversions .....

The calculation of ac short-circuit currents, essential to the selection of adequately rated protective devices and equipment in industrial and commercial power systems, is becoming increasingly important to the system designer. Today, power systems carry larger blocks of power, are more important to the operation of the plant and building, and have greater safety and reliability requirements. Meeting these requirements necessitates the fulfillment of certain criteria, including the use of adequately rated equipment.

The system designer, who is usually a consulting engineer or plant electrical engineer, is responsible for the design of the power system and the selection of equipment and will generally have the task of calculating system short-circuit currents. Procedures and techniques for these calculations are not generally available in one place but are scattered among many publications, reports, and papers.

The purpose of this publication is to provide the system designer with information and procedures necessary to calculate short-circuit currents in industrial and commercial power systems. The intent has been to make it easier for the system designer to make short-circuit calculations

by providing the necessary information in one place and oriented in a meaningful manner. The most frequently asked questions by system designers on this subject have been answered in this text.

CONTENTS

The contents of the various sections of this publication are briefly described below.

Section I describes the nature of ac short-circuit currents and discusses calculation procedures. Also included are equipment ratings and the criteria used for the selection of equipment. It provides a basis for understanding short-circuit calculating procedures.

Section II actually details short-circuit calculations, including the formulation of one-line and impedance diagrams, representation of specific system components, and step-by-step calculation procedures. It shows how to make the necessary calculations.

Section III contains examples of short-circuit calculations for both industrial and commercial building systems. A time-sharing computer example and tables for estimating short-circuit duty are illustrated.

The Appendix contains estimating data required to make short-circuit

calculations. It includes tables for estimating short-circuit currents, impedance data for system components, and short-circuit ratings for standard devices and equipment. In addition, details of the per-unit system and computational techniques are included. The estimating impedance data and equipment short-circuit ratings are included for completeness; but it must be recognized that new equipment is continually becoming available, so that in actual practice the official rating and impedance data should be obtained from the appropriate, up-to-date equipment literature.

HOW TO USE

This publication is designed for both instructional and procedural use. Seen from the contents it is arranged to provide the theory and definitions in Section I, the actual calculation procedures in Section II, examples in Section III, and estimating data in the Appendix. One who is unfamiliar with short-circuit calculations may want to use the publication as a textbook and review the entire content. For someone familiar with calculating procedures, the publication may be used as a reference for various questions which may arise.



## Introduction

Electric power systems in industrial plants, commercial and institutional buildings are designed to serve loads in a safe and reliable manner. One of the major considerations in the design of a power system is adequate control of short-circuits or faults as they are commonly called. Uncontrolled short-circuits can cause service outages with accompanying production downtime and associated inconvenience, interruption of essential facilities or vital services, extensive equipment damage, personnel injury or fatality, and possible fire damage.

Electric power systems are designed to be as fault free as possible through careful system and equipment design, as well as proper installation and maintenance. However, even with these precautions, faults do occur. Some causes are: presence of vermin or rodents in equipment; loose connections; voltage surges; deterioration of insulation; accumulation of moisture, dust, concrete juice and contaminants; the intrusion of metallic or conducting objects such as fish tape, tools, jack hammers or payloaders, and a large assortment of "undetermined phenomena."

When a short-circuit occurs on a power system, several things happen—of them bad:

1. At the fault location, arcing and burning can occur.
2. Short-circuit current flows from the various sources to the fault location.
3. All components carrying the short-circuit currents are subject to thermal and mechanical stress. This stress varies as a function of the current squared ( $I^2$ ) and the duration of current flow.
4. System voltage drops in proportion to the magnitude of the short-circuit current. Maximum voltage drop occurs at the fault location (to zero for maximum fault) but all parts of the power system will be subject to some degree of voltage drop.

Clearly, the fault must be quickly removed from the power system, and this is the job of the circuit protective devices—the circuit breakers and fusible switches. In order to accomplish this, the protective device must have the ability to interrupt the maximum short-circuit current which can flow for a fault at the device location. The maximum value of short-circuit current is frequently referred to as the "available" short-circuit current.

The maximum value of short-circuit current is directly related to the size and capacity of the power source and is independent of the load current of the circuit protected by the protective device. The larger the capacity of the power source, the greater the short-circuit current will be.

For a simple example, consider Fig. 1-(top). The impedance which determines the flow of load current is the 20 ohms impedance of the motor. If a short circuit occurs at "F," the only impedance limiting the flow of short-circuit current is

the transformer impedance (0.1 ohm compared with 20 ohms for the motor); therefore, the short-circuit current is 1000 amperes or 200 times, as great as the load current. Consequently, circuit breaker "A" must have the ability to interrupt 1000 amperes.

If the load grows and a larger transformer, one rated at 1000 amperes, is substituted for the 100-ampere unit, then the short circuit at "F<sub>1</sub>" (bottom of Fig. 1) becomes limited by 0.01 ohm, the impedance of the larger transformer. Although the load current is still five amperes, the short-circuit current increases to 10,000 amperes. Circuit breaker "A" must be able to interrupt that amount.

## Sources of Short Circuits

When determining the magnitude of short-circuit currents, it is extremely important that all sources of short circuit be considered and that the impedance characteristics of

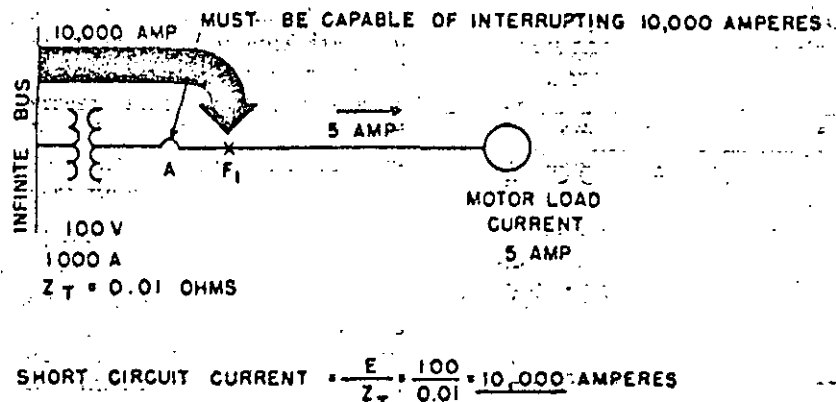
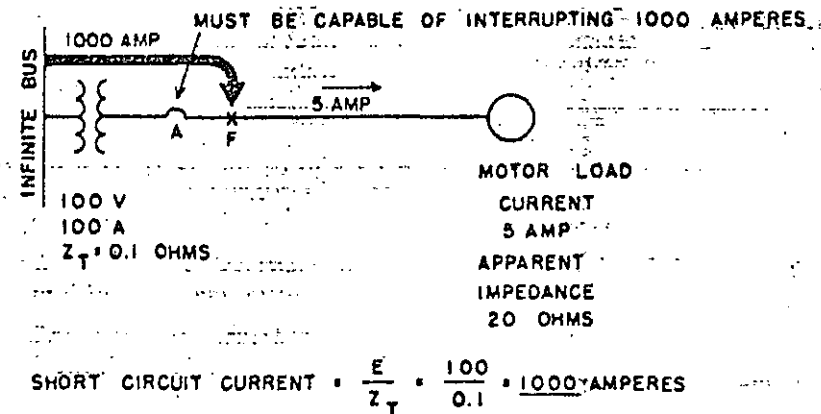


Fig. 1. Note: These values have been chosen to simplify illustrations rather than to represent actual system values.

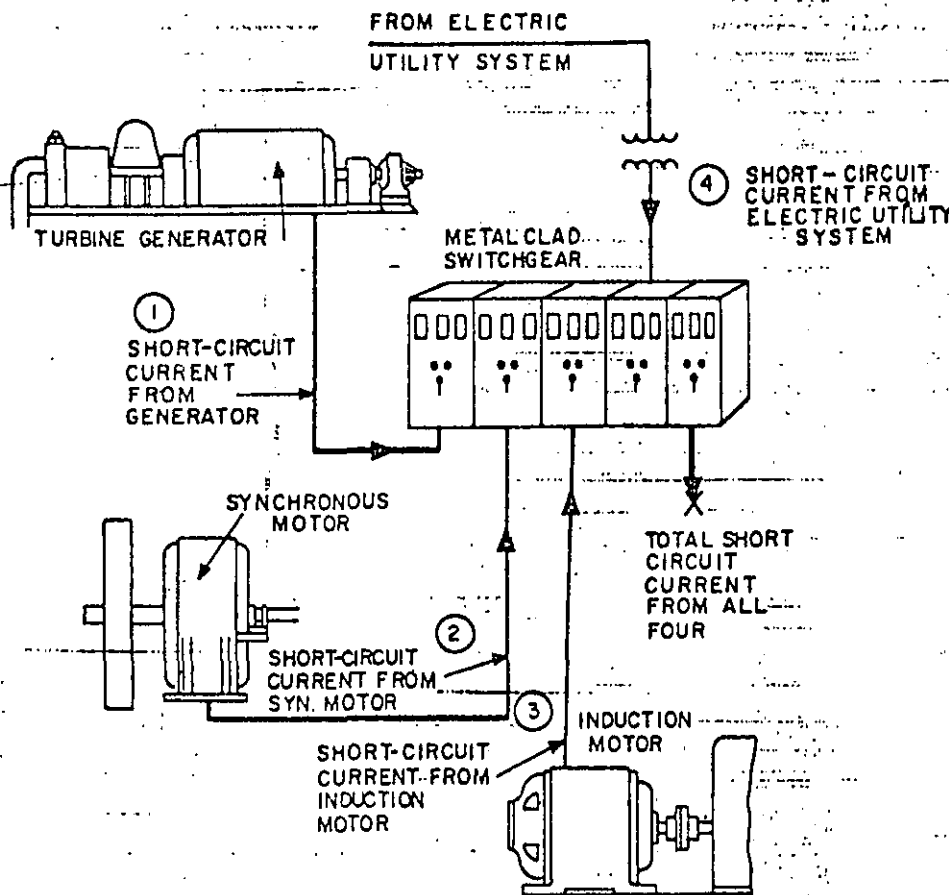


Fig. 2. Total short-circuit current equals sum of sources.

these sources be known.

There are four basic sources of short-circuit current:

1. Generators
2. Synchronous Motors
3. Induction Motors
4. Electric Utility Systems

All these can feed short-circuit current into a short circuit (Fig. 2).

## GENERATORS

Generators are driven by turbines, diesel engines, water wheels, or other types of prime movers. When a short circuit occurs on the circuit fed by a generator, the generator continues to produce voltage because the field excitation is maintained and the prime mover drives the generator at normal speed. The generated voltage produces a short-circuit current of a large magnitude that flows from the generator (or generators) to the short circuit. This flow of short-

circuit current is limited only by the impedance of the generator and of the circuit between the generator and the short circuit. For a short circuit at the terminals of the generator, the current from the generator is limited only by its own impedance.

## SYNCHRONOUS MOTORS

Synchronous motors are constructed much like generators; that is, they have a field excited by direct current and a stator winding in which alternating current flows. Normally, synchronous motors draw ac power from the line and convert electric energy to mechanical energy.

During a system short-circuit, the voltage on the system is reduced to a very low value. Consequently, the motor stops delivering energy to the mechanical load and starts slowing down. However, just as the prime

mover drives a generator, the inertia of the load and motor rotor drives the synchronous motor. The synchronous motor then becomes a generator and delivers short-circuit current for many cycles after the short circuit has occurred. The amount of short-circuit current produced by the motor depends upon the impedance of the synchronous motor and impedance of the system to the point of short circuit.

## INDUCTION MOTORS

The inertia of the load and rotor of an induction motor has the same effect on an induction motor as on a synchronous motor; that is, it drives the motor after the system short circuit occurs. There is one major difference. The induction motor has no dc field winding, but there is a flux in the induction motor during normal operation. This acts like flux produced by the dc field winding in the synchronous motor.

The field of the induction motor is produced by induction from the stator rather than from the dc winding. The rotor flux remains normal as long as voltage is applied to the stator from an external source. However, if the external source of voltage were suddenly removed, as it is when a short-circuit occurs on the system, the flux in the rotor cannot change instantly. Because the rotor flux cannot decay instantly and because the inertia of the rotating parts drives the induction motor, a voltage is generated in the stator winding. This causes a short-circuit current to flow to the short circuit until the rotor flux decays to zero. The short-circuit current vanishes almost completely in about four cycles, since there is no sustained field current in the rotor to provide flux, as in the case of a synchronous machine.

The flux does last long enough to produce enough short-circuit current to affect the momentary duty on circuit breakers and the interrupting duty on devices that open within one or two cycles after a short circuit. Hence, the short-circuit current produced by induction motors must be considered in certain calculations. The magnitude of a short-circuit

current produced by the induction motor depends upon the impedance of the motor and the impedance of the system to the point of short circuit. The machine impedance, effective at the time of short circuit corresponds closely to the impedance at standstill. Consequently, the initial value of short-circuit current is approximately equal to the locked-rotor starting current of the motor.

## ELECTRIC UTILITY SYSTEMS (SUPPLY TRANSFORMERS)

The electric utility system or the supply transformer from the electric utility system are often considered a source of short-circuit current. Strictly speaking, this is not correct because the utility system or supply transformer merely delivers the short-circuit current from the utility system generators. Transformers merely change the system voltage and magnitude of current but generate neither. The short-circuit current delivered by a transformer is determined by its secondary voltage rating and impedance, the impedance of the generators and system to the terminals of the transformer and the impedance of the circuit from the transformer to the short circuit.

## ROTATING MACHINE REACTANCE

The impedance of a rotating machine consists primarily of reactance and is not one simple value as it is for a transformer or a piece of cable, but is complex and variable with time. For example, if a short-circuit is applied to the terminals of a generator, the short-circuit current behaves as shown in Fig. 3. The current starts out at a high value and decays to a steady-state value after some time has elapsed from the inception of the short-circuit. Since the field excitation voltage and speed have remained relatively constant within the short interval of time considered, the reactance of the machine may be assumed—to explain the change in the current value—to have changed with time after the short-circuit was initiated.

Expression of such a variable reactance at any instant requires a complicated formula involving time as one of the variables. Therefore, for the sake of simplification, three values of reactance are assigned to generators and motors for the purpose of calculating short-circuit current at specified times. These values are called the subtransient reactance, transient reactance, and syn-

chronous reactance and are described as follows:

1. Subtransient reactance ( $X''_d$ ) is the apparent reactance of the stator winding at the instant short circuit occurs, and it determines the current flow during the first few cycles after short circuit.
2. Transient reactance ( $X'_d$ ) determines the current following the period when subtransient reactance is the controlling value. Transient reactance is effective up to one-half second or longer, depending upon the design of the machine.
3. Synchronous reactance ( $X_d$ ) is the reactance that determines the current flow when a steady state condition is reached. It is not effective until several seconds after the short circuit occurs; consequently, it is not generally used in short-circuit calculations.

A synchronous motor has the same kind of reactance as a generator, but it is of a different value. Induction motors have no field coils, but the rotor bars act like the amortisseur winding in a generator; therefore, induction motors are said to have subtransient reactance only.

## Symmetrical and Asymmetrical Currents

The words "symmetrical" and "asymmetrical" describe the shape of the ac waves about the zero axis. If the envelopes of the peaks of the current waves are symmetrical around the zero axis, they are called "symmetrical current" envelopes (Fig. 4). If the envelopes are not symmetrical around the zero axis, they are called "asymmetrical current" envelopes (Fig. 5). The envelope is a line drawn through the peaks of the waves.

Most short-circuit currents are nearly always asymmetrical during the first few cycles after the short circuit occurs. The asymmetrical current is at a maximum during the first cycle after the short circuit

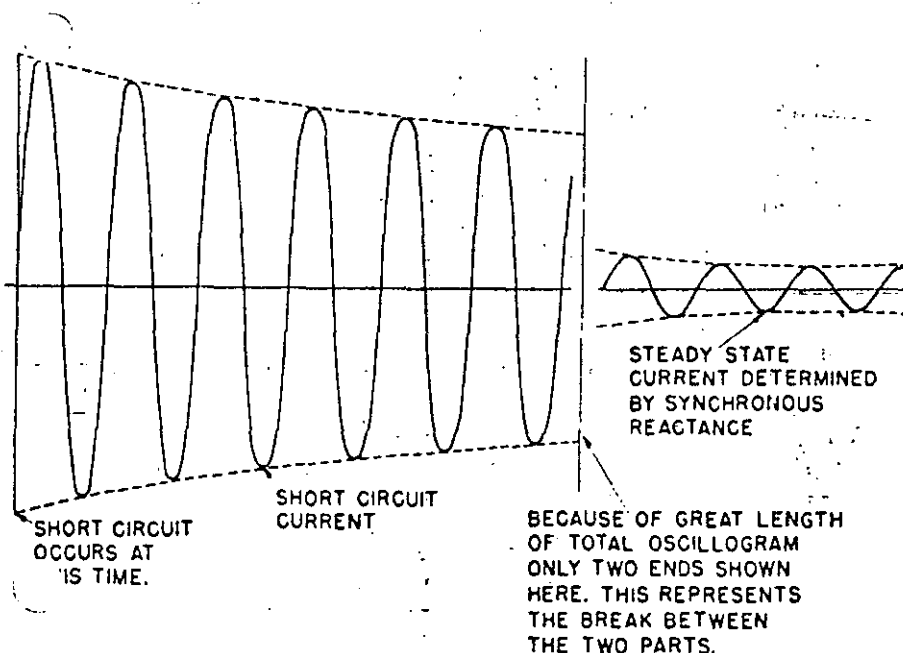


Fig. 3. Oscillogram of a symmetrical short-circuit current produced by a generator.

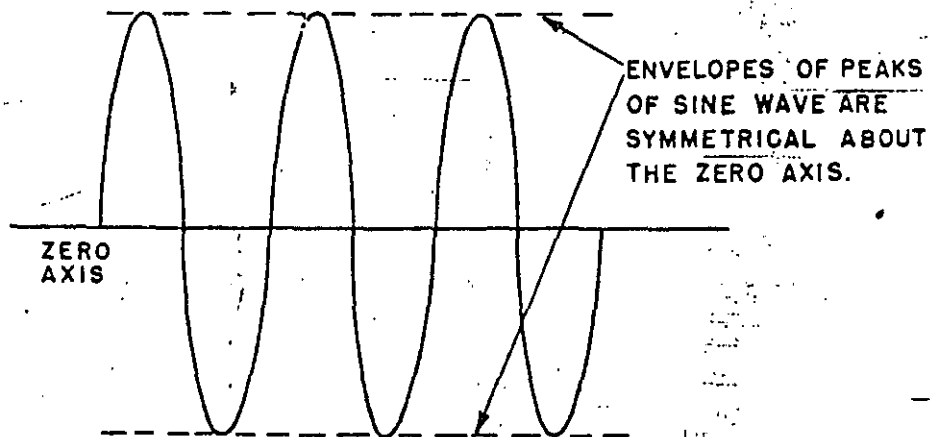


Fig. 4. Symmetrical ac wave.

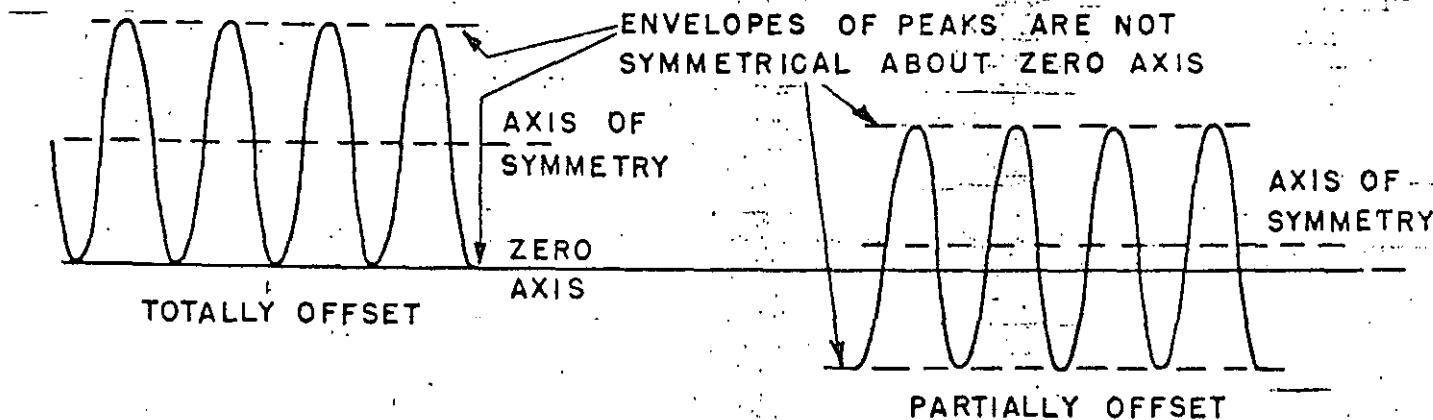


Fig. 5. Asymmetrical ac waves.

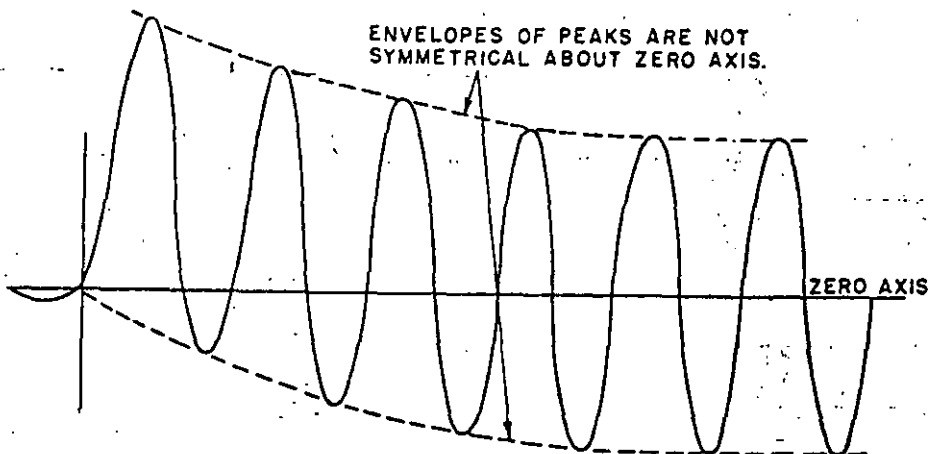


Fig. 6. Oscillogram of a typical short circuit.

occurs and in a few cycles gradually becomes symmetrical. An oscillogram of a typical short-circuit current is shown in Fig. 6.

## WHY SHORT-CIRCUIT CURRENTS ARE ASYMMETRICAL

In ordinary power systems, the applied or generated voltages are of sine-wave form. When a short circuit occurs, substantial sine-wave short-circuit currents result. The following discussion assumes sine-wave voltages and currents.

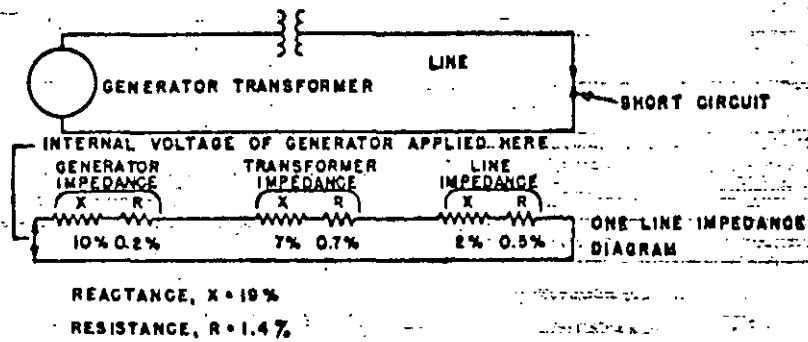
The power factor of a short circuit is determined by the series resistance and reactance of the circuit (from the fault back to and including the source or sources of the short circuit). For example, in Fig. 7, the reactance equals 19%, the resistance

equals 1.4%, and the short-circuit power-factor equals 7.4%, determined by using the formula,

$$\left( \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \right)$$

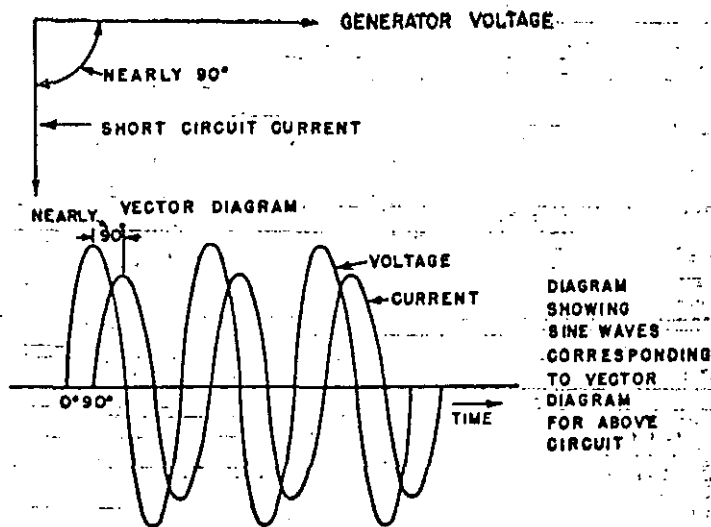
The relationship of the resistance and reactance of a circuit is sometimes expressed in terms of the X/R ratio. For example, the X/R ratio of the circuit shown in Fig. 7 is 13.6.

In high-voltage power circuits, the resistance of the circuit back to and including the power source is low compared with the reactance of the circuit. Therefore, the short-circuit current lags the source voltage by approximately 90 degrees (see Fig. 7). Low-voltage power circuits (below 600-volts) tend to have a larger percentage of resistance and



the current will lag behind the voltage by less than 90 degrees.

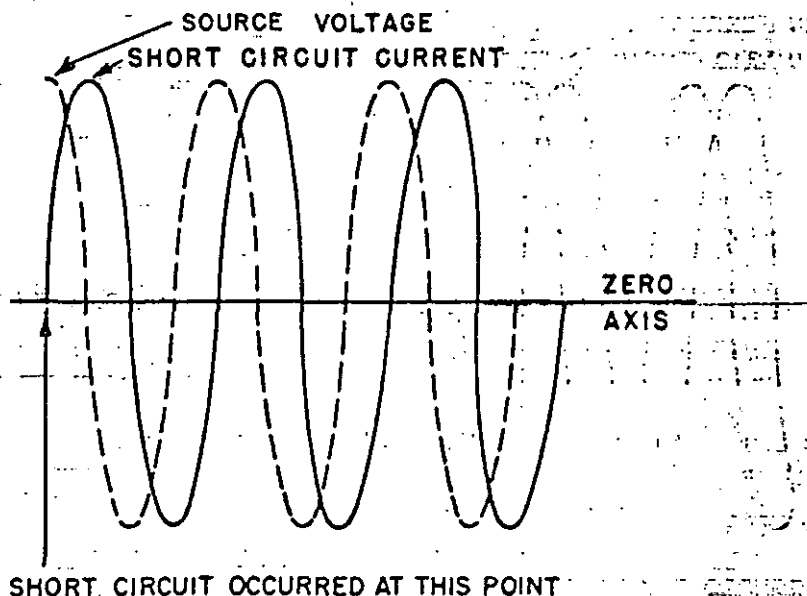
If a short-circuit occurs at the peak of the voltage wave in a circuit containing only reactance, the short-circuit current will start at zero and trace a sine wave which will be symmetrical about the zero axis (Fig. 8). If a short-circuit occurs at the zero point of the voltage wave, the current will start at zero but cannot follow a sine wave symmetrically about the zero axis because the current must lag behind the voltage by 90 degrees. This can happen only if the current is displaced from the zero axis as shown in Fig. 9.



The two cases shown in Figs. 8 and 9 are extremes. One shows a totally symmetrical current and the other a completely asymmetrical current. If the fault occurs at any point between zero voltage and peak voltage, the current will be asymmetrical to a degree dependent upon the point at which the short-circuit occurs on the voltage wave.

In a circuit containing resistance and reactance, the degree of asymmetry can vary between the same limits as a circuit containing only reactance. However, the point on the voltage wave at which the short-circuit must occur to produce maximum asymmetry depends on the ratio of resistance-to-reactance of the circuit.

Fig. 7. Diagrams illustrating the phase relations of voltage and short-circuit currents.



## THE DC COMPONENT OF ASYMMETRICAL SHORT-CIRCUIT CURRENTS

Asymmetrical currents are analyzed in terms of two components, a symmetrical current and a dc component as shown in Fig. 10. As previously discussed, the symmetrical component is at a maximum at the inception of the short circuit and decays to a steady state value due to the apparent change in machine reactance. In all practical circuits, that is, those containing resistance, the dc component will also decay (to zero) as the energy represented by the dc component is dissipated as  $I^2R$  loss in the resistance of the circuit. Fig. 11 illustrates the decay of the dc component.

Fig. 8. Symmetrical current and voltage in a zero power-factor circuit.

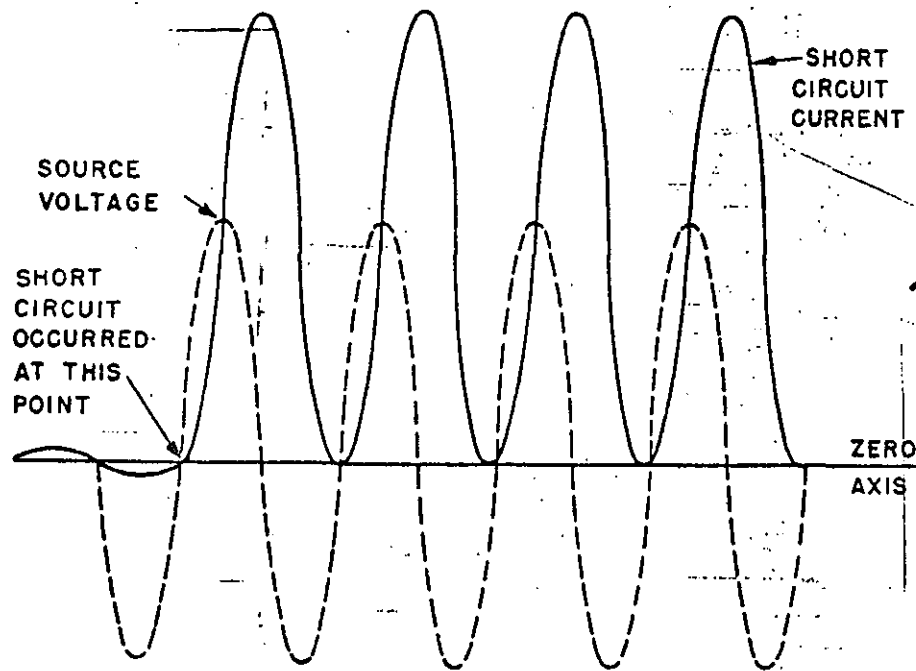


Fig. 9. Asymmetrical current and voltage in a zero power-factor circuit.

in the plant or in the utility system or both. The second source comprises synchronous motors. Induction motors, the third source, are located in every plant and building. Because these currents decay with time due to reduction of flux in the machine after short circuit, the total short-circuit current decays with time (bottom, Fig. 12). So even though only the symmetrical part of the short-circuit current is considered, the magnitude of current is highest at the first half cycle after short circuit and is of lower value a few cycles later. Note that the induction motor component disappears entirely after one or two cycles.

The magnitude during the first few cycles is further increased by the dc component (Fig. 13). This component also decays with time, accentuating the difference in magnitude of a short-circuit current at the first cycle after short circuit and a few cycles later.

## Short-circuit Calculations

The calculation of the precise value of an asymmetrical current at a given time after the inception of a fault is a rather complex computation. Consequently, simplified methods have been developed which yield short-circuit currents required to match the assigned ratings of various system protective devices and equipment.

The value of the symmetrical short-circuit current is determined through the use of the proper impedance in the basic equation:

$$I = E / Z$$

where E is the system driving voltage and Z (or X) is the proper system impedance (or reactance) of the power system back to and including the source or sources of a short-circuit current. The value of the proper impedance is determined with regard to the basis of rating for the device or equipment under consideration.

## THE BASIS OF DEVICE AND EQUIPMENT RATING

It has been stated previously that a circuit protective device must have the ability to interrupt the maxi-

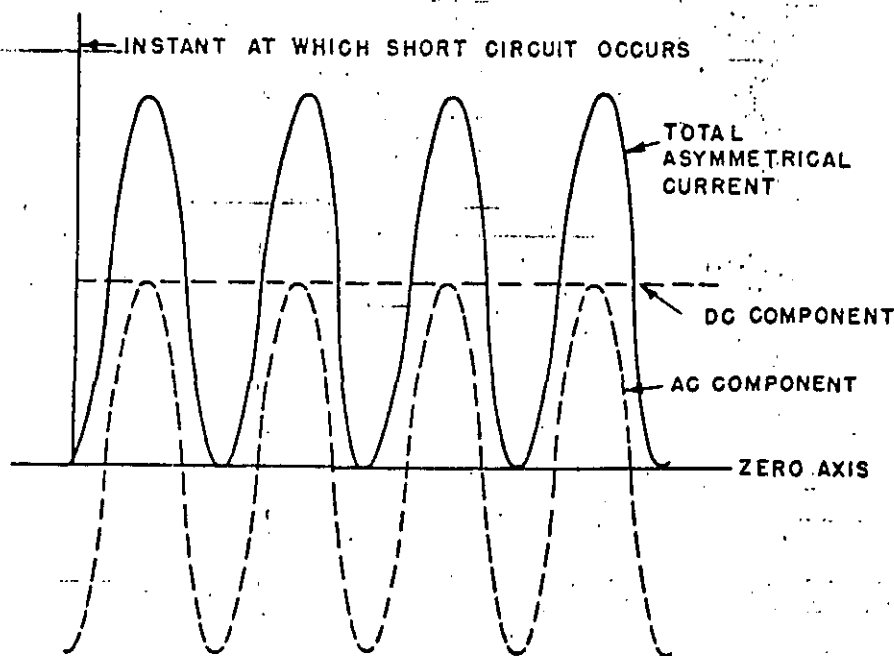


Fig. 10. Components of current shown in Fig. 9.

The rate of decay of the dc component is a function of the resistance and reactance of the circuit. In practical circuits, the dc component decays to zero in from one to six cycles.

## TOTAL SHORT-CIRCUIT CURRENT

The total symmetrical short-circuit current usually has several sources as illustrated in Fig. 12. The first includes generators either

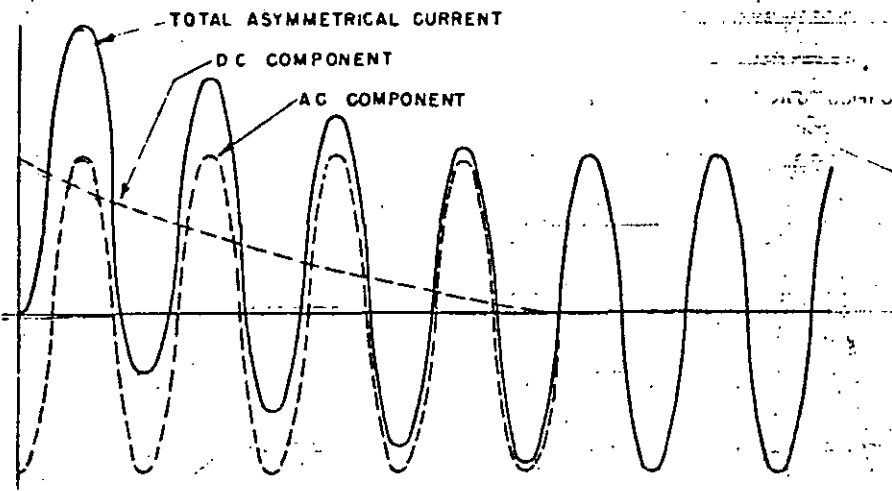


Fig. 11. Oscillogram showing decay of dc component and effect of asymmetry of current.

imum short-circuit current which can flow for a fault at a device location. This maximum current is called the "available" short-circuit current. But this is not entirely correct. For a fault on the load side of the device, the actual current that the device does interrupt may be less than the available current due to the impedance of the device, the impedance of the arc on contact parting, and the ability of the device to current-limit as in the case of a current limiting fuse. The basic concept is that the device must have the ability, when applied at a location with a given available short-circuit current, to satisfactorily interrupt a fault at its load terminals. On this basis, the device short-circuit rating is stated in terms of the available short-circuit current.

The same concept applies to the short-circuit rating of busway and bus structures within switchgear and panelboards in that the rating refers to the available short-circuit current at the locations where the equipment is to be connected.

### Low-voltage Protective Devices and Equipment (below 600 volts)

Low-voltage protective devices and equipment, including low-voltage power circuit breakers; molded case circuit breakers; motor control centers; motor controllers; low-voltage

fuses, and busway are rated on the basis of available symmetrical amperes. Since these protective devices are fast operating (contact parting within the first cycle or two), their short-circuit ratings are based on maximum current during the first cycle. Therefore, the subtransient reactance  $X'$  is used for all sources of short-circuit current in the basic equation  $I = E/Z$ . No multiplying factors are required to be applied to this calculated symmetrical value of available short-circuit current.

Although rated on a symmetrical current basis, these devices and equipment are tested on the basis of typical circuit asymmetrical conditions as covered by the applicable standards.

### High-voltage Circuit Breakers (above 600 volts)

To apply high-voltage circuit breakers, the short-circuit duties during the first cycle (momentary) and at contact parting time (interrupting) must be compared with the circuit breaker's short-circuit capabilities to close and latch during the first cycle and to interrupt at some time later.

### Total Current Basis of Rating

ANSI standard C37.6-1966 and

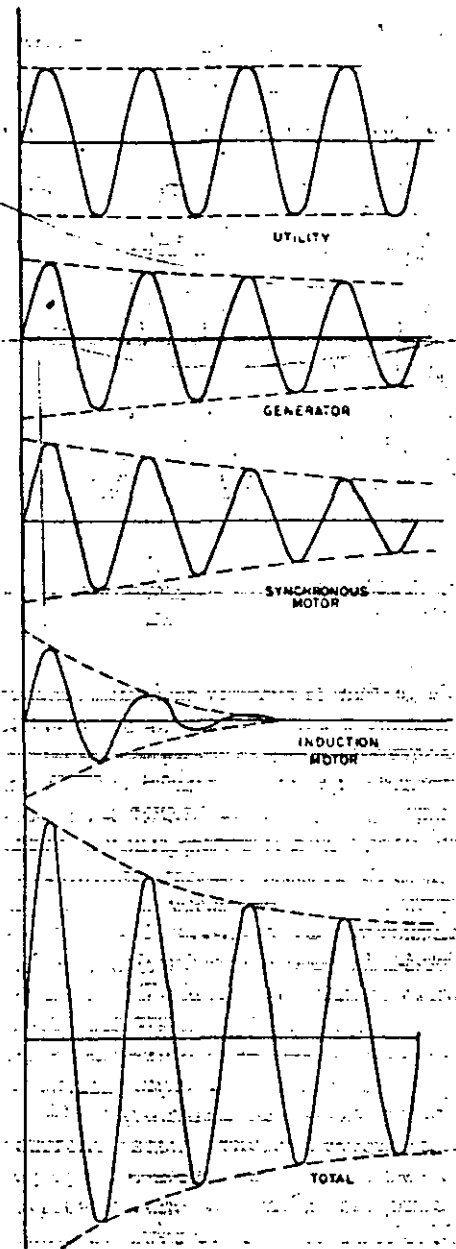


Fig. 12. Symmetrical short-circuit currents from four sources combined into total.

earlier issues list high-voltage circuit breakers rated on a total current basis. The previous standard describing the calculation of short-circuit duties to apply these breakers is ANSI C37.5-1953. This standard is now superseded by ANSI C37.5-1969 which describes a revised calculation for obtaining short-circuit duties to apply total current rated breakers.

The first-cycle duty (momentary) is determined by ANSI C37.5-1953 as follows. First, a symmetrical short-circuit current value is calculated

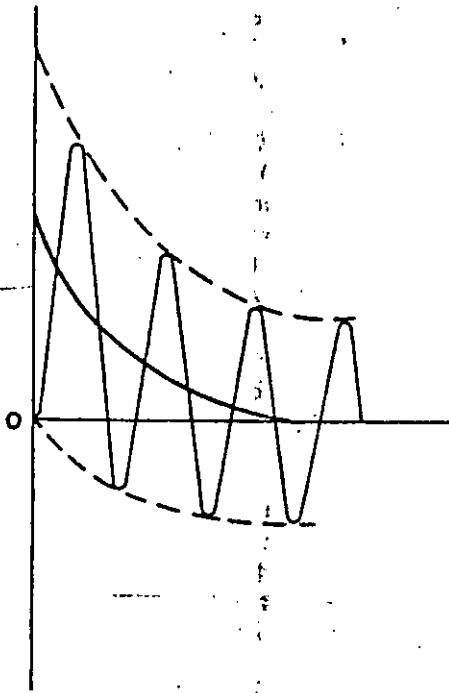


Fig. 13. Asymmetrical short-circuit currents plus the dc component from all sources.

using subtransient reactance ( $X_d''$ ) for all sources of short-circuit current in the equivalent circuit of the power system. Next, multiplying factors are applied to this calculated symmetrical value to determine asymmetrical short-circuit duty. In the revised calculation procedure *ANSI C37.5-1969*, the first-cycle duty (momentary) calculation is very similar. Differences occur in modified reactance values for medium and small induction motors.

The interrupting duty according to *ANSI C37.5-1953* is determined using an equivalent circuit that has subtransient reactance ( $X_d''$ ) for synchronous generators, transient reactance ( $X_d'$ ) for synchronous motors and that neglects the contribution of induction motors. The short-circuit interrupting MVA or current calculated from the circuit is then multiplied by a factor that depends on the circuit breaker rated interrupting time and on power system operating conditions.

The contact parting time (interrupting) duty calculated by the *ANSI C37.5-1969* method uses subtransient reactance ( $X_d''$ ) for synchronous generators, 1.5 times subtransient reactance ( $1.5X_d''$ ) for

synchronous motors, and modified subtransient reactances for induction motors which are divided into three categories each with a different reactance multiplier in the power system reactance network equivalent circuit. The circuit is then reduced to an equivalent  $X$  (reactance) value and an  $E/X$  symmetrical short-circuit current is calculated. Then a multiplying factor obtained from curves in *ANSI C37.5-1969* is applied to obtain the total short-circuit duty to be compared with the capability of a total rated circuit breaker. The multiplying factor depends on the circuit breaker contact parting time, the fault point  $X/R$  ratio, and the proximity of generation. *ANSI C37.5-1969* describes the fault point  $X/R$  ratio calculation utilizing a resistance network corresponding to the reactance network.

Table 1, page 12, contains a summary of machine reactances and multiplying factors used in short-circuit calculations described in *ANSI C37.5-1953*.

### Symmetrical Current Basis of Rating

*ANSI* standard *C37.06-1966* and later revisions list high-voltage circuit breakers with a symmetrical current basis of short-circuit rating. The symmetrical current value of rated short-circuit listed for a breaker in the tables applies only at rated maximum voltage. The short-circuit capability at an actual lower operating voltage will be higher and is found by applying the voltage ratio to the rated short-circuit current.

The calculation method used to apply symmetrically rated breakers is described in *ANSI C37.010-1972*. The first-cycle duty calculation by this standard is exactly the same as in *ANSI C37.5-1969*. The result is a asymmetrical first-cycle duty that is compared with the asymmetrical closing and latching capabilities of the symmetrically rated breaker.

The contact parting time short-circuit (interrupting) duty calculation, as described by *ANSI C37.010-1972*, uses the same reactance network as the calculation described in *ANSI C37.5-1969* and the same  $E/X$

calculated current value. A different multiplying factor is applied to  $E/X$  to establish the duty to be compared with the symmetrical short-circuit interrupting capability of a symmetrically rated breaker.

As long as the  $X/R$  ratio for each network element or the fault point  $X/R$  ratio is 15 or less, the multiplying factor is 1.0 (When the  $X/R$  ratio is 15 or less, the asymmetrical short-circuit duty never exceeds the symmetrical short-circuit duty by a margin greater than that by which the breaker's asymmetrical short-circuit capability, as required by the standards, exceeds its symmetrical short-circuit capability.)

When the  $X/R$  ratio exceeds 15, the multiplier usually exceeds 1.0. Multiplying factors are determined from curves in *ANSI C37.010-1972* and depend on the contact parting (interrupting time) of the circuit breaker, the fault point  $X/R$  ratio, and the proximity of generation to the point of fault. The  $X/R$  ratio calculation of *ANSI C37.010-1972* is the same as by *ANSI C37.5-1969*.

### Comparison of Duty Calculation Methods

The newer calculation methods, *ANSI C37.5-1969* (for total current basis rated circuit breaker) and *ANSI C37.010-1972* (for symmetrical current basis rated circuit breakers), differs from *ANSI C37.5-1953* principally in data collection (not only reactance values but also  $X/R$  ratios or resistance values are needed for system components) and in the treatment of reactances.

The first cycle (momentary) duty calculated by the newer methods will not generally be greatly different from that calculated by the earlier method. The interrupting duty calculated by the newer methods often is higher because of the increased motor contributions recognized by them.

The first-cycle duty calculations used in selecting low-voltage (below 600 volts) protective devices, in setting instantaneous relays and in selecting current limiting fuses are the same as those of *ANSI C37.5-1953*. A simplified calculation example will be shown later.



An example of short-circuit duty calculations by the newer methods, *ANSI C37.5-1969* (total current basis of rating-duty) and *ANSI C37.010-1972* (symmetrical current basis of rating duty) is not included in this text due to space limitations. For a description of these procedures the following references are recommended.

- American National Standard Institute
  - C37.010-1972 (and later revision)
  - C37.5-1969
- "Interpretation of New American National Standards for Power Circuit Breaker Application" by Walter C. Quening, Jr.
 

EE Transactions on Industry and General Applications Vol. IGA-5, No. 5 Sept./Oct. 1969 (GER-2660)
- "Electric Power Distribution For Industrial Plants"—IEEE Publication 141 (Red Book) dated 1969 or later revision

## High-voltage Fuses (above 600 volts)

The interrupting rating of high-voltage fuses is given in asymmetrical amperes. The machine reactances used in the calculations are identical to those used for calculating momentary duty for high-voltage circuit breakers as explained above. Refer to Table 1.

## TYPES OF POWER SYSTEM FAULTS

Faults or short-circuits can occur on a three-phase power system in several ways. The protective device or equipment must have the ability to interrupt or withstand any type of fault which can occur. The basic type of faults will be described, but it should be noted that the basic fault calculation for the selection of

equipment is the three-phase bolted fault.

## Three-phase Bolted Fault

A three-phase bolted fault describes the condition where the three conductors are physically held together with zero impedance between them just as if they were bolted together.

While this type of fault condition is not the most frequent in occurrence, it generally results in maximum short-circuit values and for this reason is the *basic fault calculation* in commercial and industrial power systems.

## Line-to-line Bolted Faults

In most three-phase power systems, the levels of line-to-line bolted fault currents are approximately 87% of three-phase bolted fault currents, but this calculation is seldom required because it is not the maximum value.

Table 1—Machine Reactance and Multiplying Factors Used in Simplified Calculations of Short-circuit Duty (ANSI-C37.5-1953)

Equipment	Type of Short-circuit Rating	Machine Reactances to Use			Multiplying Factor to be Applied to Calculated Symmetrical Value*	
		Synchronous Generators	Synchronous Motors	Induction Motors		
L-V Power Circuit Breakers L-V Molded-case Circuit Breakers L-V Motor Controllers (incorporating Fuses or Molded-case Circuit Breakers) Fuses Busway Bus Bracing inc. L-V Switchgear L-V Switchboards L-V Motor-control Centers L-V Panelboards	Symmetrical Amperes Available	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	None	
Power Circuit Breakers (above 600 volts) with Rated Interrupting Times of 8 cycles (Refer to the Total Current Rating Basis—ASA C37.6—1964)	Interrupting—Symmetrical Amperes or MVA Available	Subtransient (X'')	Transient (X)	Neglect	General Case†	Special Case‡
	Momentary—Asymmetrical Amperes Available	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	1.6‡	1.5‡
Fuses and Fused Cutouts (above 1500 volts)	Interrupting—Asymmetrical Amperes Available	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	Subtransient (X'')	1.6‡	1.2‡

\* The calculated symmetrical value to which the multiplier is applied should be in rms amperes, kV, or MVA depending on the terms in which the rated capability of the particular equipment is expressed.  
 † special-case multiplier ONLY if the calculated symmetrical value exceeds 500 MVA AND the circuit is principally fed direct from generators or entirely through current-limiting reactors; otherwise use general-case multiplier.  
 ‡ Use special-case multiplier ONLY if op-

erating voltage is 5000 or less AND the circuit is NOT principally fed direct from generators or entirely through current-limiting reactors; otherwise, use general-case multiplier.  
 § Use special-case multiplier ONLY if the operating voltage is 15000 or below, AND the fuses are NOT of the current-limiting type, AND the supply-circuit X'R is less than 4; otherwise use general-case multiplier.

## Line-to-ground Bolted Fault

In solidly-grounded systems, line-to-ground bolted fault current is usually equal to, or less than a three-phase bolted fault current. Sometimes it is significantly lower than the three-phase bolted fault current due to the high impedance of the ground-return circuit (that is, conduit, busway enclosure, grounding conductor, and building steel). Line-to-ground fault calculations are seldom necessary in solidly-grounded, low-voltage industrial and commercial power systems.

When required, symmetrical component techniques are used to analyze line-to-ground faults where the line-to-ground fault current can be expressed as:

$$I_{L-G} = \frac{3E_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 - Z_g}$$

Where  $E_{L-N}$  = line-to-neutral voltage  
 $Z_1$  = positive-sequence impedance  
 $Z_2$  = negative-sequence impedance  
 $Z_0$  = zero-sequence impedance  
 $Z_g$  = ground return impedance including resistance of neutral grounding resistor if any

In resistance-grounded, medium-voltage systems (2.4–13.8 kV) the resistor is generally selected to limit ground fault current to a value ranging between 400 and 2000 amperes. Line-to-ground fault magnitudes on these systems are determined primarily by the resistor itself and a line-to-ground short-circuit calculation is generally not required.

## Arcing Fault

Many power system faults, particularly in low-voltage systems, tend to be arcing in nature.

Arcing faults can display a much lower level of short-circuit current than a bolted fault at the same location, particularly in low-voltage systems. These lower levels of current are due in part to the impedance of the arc inserted into the circuit.

The low levels of arcing fault current in low-voltage systems become important in designing adequate system protection. Due to its complex nature, arcing faults is a subject all to itself and is treated as such in GET-6533.

## Selection of Equipment

In order to provide for personal safety and to minimize equipment damage, it is absolutely essential to use equipment with short-circuit ratings equal to or greater than the available short-circuit current that can occur at the equipment location. The 1975 National Electrical Code states:

—Article 110-9

Interrupting Capacity. Devices intended to break current shall have an interrupting capacity sufficient for the

voltage employed and for the current which must be interrupted.

For any given location, there may be several types of protective devices which have an adequate short-circuit rating. Selection of a specific device would then depend on other factors such as economics; users preference; protection characteristics; maintainability, and so on.

There is, however, one instance when equipment can be applied at a location where the available short-circuit current is higher than the short-circuit rating of the device. This arrangement utilizes a current limiting fuse or other device which can furnish short-circuit protection for down-stream equipment.

## CASCADE OPERATION OF CIRCUIT BREAKERS

The cascade operation of low-voltage circuit breakers (GE TYPE AK) is no longer recognized by NEMA with the publication of SG-3-1965. This application procedure previously allowed a feeder breaker to be applied on a system where the available short-circuit current was in excess of the breaker's short-circuit rating, provided the feeder breaker was backed up by an adequately rated main breaker. In addition, the NEMA standards specified certain other requirements for this application.

In recent years, cascaded arrangements have been infrequently used in industrial and commercial power systems mostly because of the increased recognition of the importance of service continuity. In cascade operation, when a fault occurred on a feeder circuit, both the main and feeder breaker would probably trip.

Neither molded-case circuit breakers nor high-voltage circuit breakers may be applied in cascade arrangements.

## CURRENT-LIMITING FUSE PROTECTION FOR DOWN-STREAM EQUIPMENT

The current-limiting effect of low-voltage, current-limiting fuses and current limiters (in TRI-BREAK\* breakers) can be utilized to provide protection for down-stream protective devices and equipment. A current limiting fuse or limiter can limit the peak let-through current to values lower than the available short-circuit current. The energy let-through which is proportional to  $I^2t$  is reduced in a similar manner. By properly matching the fuse and the down-stream equipment, the down-stream equipment can be applied on circuits with a higher than rating available short-circuit current because of the current limiting effect of the fuse.

Down-stream equipment when protected by a properly matched fuse can be applied where the available short-circuit current is in excess of the equipment short-circuit rating. For example, consider a panel-board containing TED circuit breakers with a short-circuit rating of 14,000 amperes located where the available short-circuit current is 45,000 amperes. Obviously, these breakers do not have an adequate short-circuit rating by themselves. However, if current limiting fuses (Class J) rated 400 amperes or less are located in the mains of the panel-board or at an up-stream location such as a bus-plug feeding the panel-board, the TED breakers will be adequately protected.

The Appendix contains tables which show matched combinations of current limiting fuses and down-circuit equipment.

Finally, it has been determined that the matched combinations must be verified by actual test in a short-circuit laboratory, and this is the basis of these tables.

\*Trade-mark of the General Electric Company.

## Introduction

In Section I the general nature of ac short circuits, including the calculation of short-circuit currents, was discussed. It was determined that the basic equation for the calculation of short-circuit current is  $I = E/Z$  where  $E$  is the system driving voltage and  $Z$  (or  $X$ ) is the proper system impedance (or reactance) of the power system back to and including the source(s) of short-circuit current. Furthermore, the proper value of impedance depends on the basis of short-circuit rating for the device or equipment under consideration.

In this section the details of short-circuit calculations will be presented. Much of the detail of a short-circuit calculation or study involves the representation of the proper system impedances from the point of fault back to and including the source(s) of short-circuit current. After this representation is accomplished, the actual fault computation is very simple. Step-by-step procedures will be presented for making short-circuit calculations.

These step-by-step procedures will provide a basis for making short-circuit calculations for most types of industrial and commercial power systems from an extensive industrial system where the primary service may be 115 kV with distribution and utilization voltage at 13.8 kV, 2.4 kV, 480Y/277 v and 208Y/120 v, including in-plant generation, to a commercial building system where the service and utilization voltage is 208Y/120 volts. The industrial system would require an extensive representation and many procedural steps while the building system may require minimal representation with just a few steps. Sometimes, a short-circuit calculation is required for only a part of the system—for instance, to determine the required short-circuit ratings for equipment to be served from a new feeder to an existing building service equipment, or for low-voltage systems where the sources of short-circuit current are a supply transformer (or a utility system) and induction motors. Examples are included which show simple and direct solutions for the cases.

## Step-by-step Procedures

The following steps identify the basic considerations in making short-circuit calculations. In the simpler systems, several steps may be combined—for example, the use of a combined one-line and impedance diagram.

1. Prepare System One-Line Diagram. Include all significant system components.
2. Decide on fault locations and type of short-circuit current calculations required, based on type of equipment being applied. Consider the variation of system operating conditions required to display the most severe duties. Assign bus numbers or suitable identification to the fault locations.
3. Prepare an impedance diagram. For systems above 600 volts, two diagrams are usually required to calculate interrupting and momentary duty for high-voltage circuit breakers. Refer to Table 1 for determining the type of short-circuit rating required for various kinds of equipment as well as the machine reactances to use in the impedance diagram. Select suitable kVA and voltage bases for the study when the per-unit system is being used.
4. For the designated fault locations and system conditions, resolve the impedance network and calculate the required symmetrical currents ( $E/Z$  or  $E/X$ ). When calculations are being made on a computer, submit impedance data in proper form as required by the specific program. For high-voltage equipment apply appropriate multipliers from Table 1 to calculated symmetrical values so that the short-circuit currents will be in terms of equipment rating.

## A SYSTEM ONE-LINE DIAGRAM

The system one-line diagram is

fundamental to short-circuit analysis. It should include all significant equipment and components and show their interconnections. Fig. 14 illustrates a typical system one-line diagram.

## TYPE AND LOCATION OF FAULTS REQUIRED

All buses should be numbered or otherwise identified. The location where short circuits are required should be selected. In many studies, all buses are faulted. The type of short-circuit currents required is based on the short-circuit rating of the equipment located at the faulted bus.

## SYSTEM CONDITIONS FOR MOST SEVERE DUTY

It is sometimes quite difficult to predict which of the intended or possible system conditions should be investigated to reveal the most severe duties for various components. Severe duties are those that are most likely to tax the capabilities of components.

Future growth and change in the system can modify short-circuit currents. For example, the initial utility available short-circuit duty for an in-building system being investigated may be 150 MVA. But future growth plans may call for an increase in available duty to 750 MVA several years hence. This increase could substantially raise the short-circuit duties on the in-building equipment. Therefore, the increase must be factored in the present calculations so that adequate in-building equipment can be selected. In a similar manner, future in-plant or in-building expansions very often will raise short-circuit duties in various parts of the power system so that future expansions must also be considered initially.

The most severe duty usually occurs when the maximum concentration of machinery is in operation, and all interconnections are closed. The conditions most likely to influence the critical duty include:

1. Which machines and circuits are to be considered in actual operation?

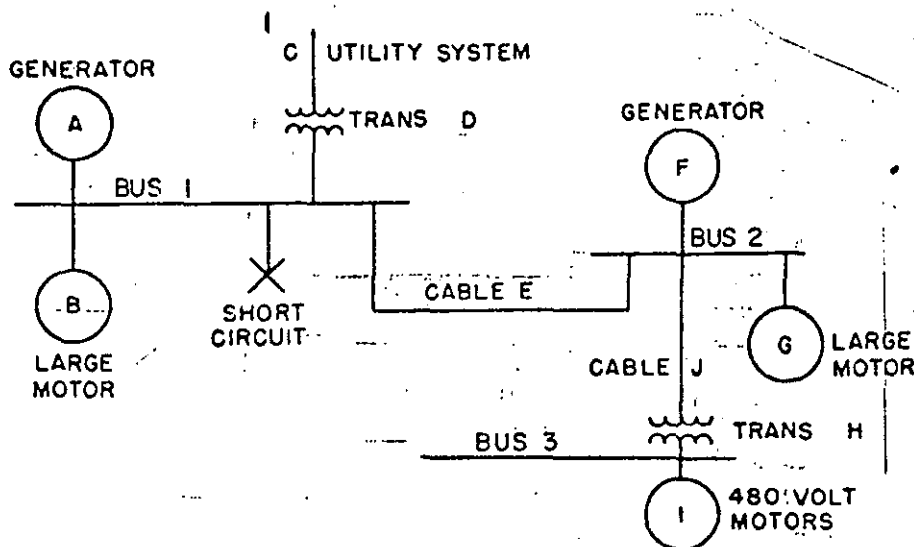


Fig. 14. A typical system one-line diagram.

2. Which switching units are to be open or closed?
3. What future expansions or system changes will affect in-plant or in-building short-circuit currents?

In formulating the impedance diagram, all impedance values must be expressed in the same units; either in *Ohms-per-phase* or *per-unit on a reference kVA base* (per-cent is a form of per-unit).

### Preparing Impedance Diagrams

The impedance diagram displays the interconnected circuit impedances that control the magnitude of short-circuit currents. The diagram is derived from the system one-line diagram, showing an impedance for every system component that exerts a significant effect on short-circuit current magnitude. Not only must the impedances be interconnected to reproduce actual circuit conditions, but it will be helpful to preserve the same arrangement pattern used in the one-line diagram. See Fig. 15.

### COMPONENT IMPEDANCE VALUES

Component impedance values are expressed in terms of any of the following units:

1. Ohms-per-phase
2. Per-cent on rated kVA or a reference kVA base
3. Per-unit on a reference kVA base

### USE OF PER-UNIT OR OHMS

Short-circuit calculations can be made with impedances represented in per-unit or ohms. Both representations will yield identical results. Which should be used?

In general, if the system being studied has several different voltage levels or is a high-voltage system (above 600 volts), per-unit impedance representation will provide the easier, more straightforward calculation. The per-unit system is ideal for studying multi-voltage systems. Also, most of the components included in high-voltage networks (machines, transformers, and utility systems) are given in per-unit or per-cent values and further conversion is not required.

On the other hand, where few or no voltage transformations are involved and for low-voltage systems where many conductors are included in the impedance network, representation of system elements in ohms may provide the easier, more straightforward calculation.

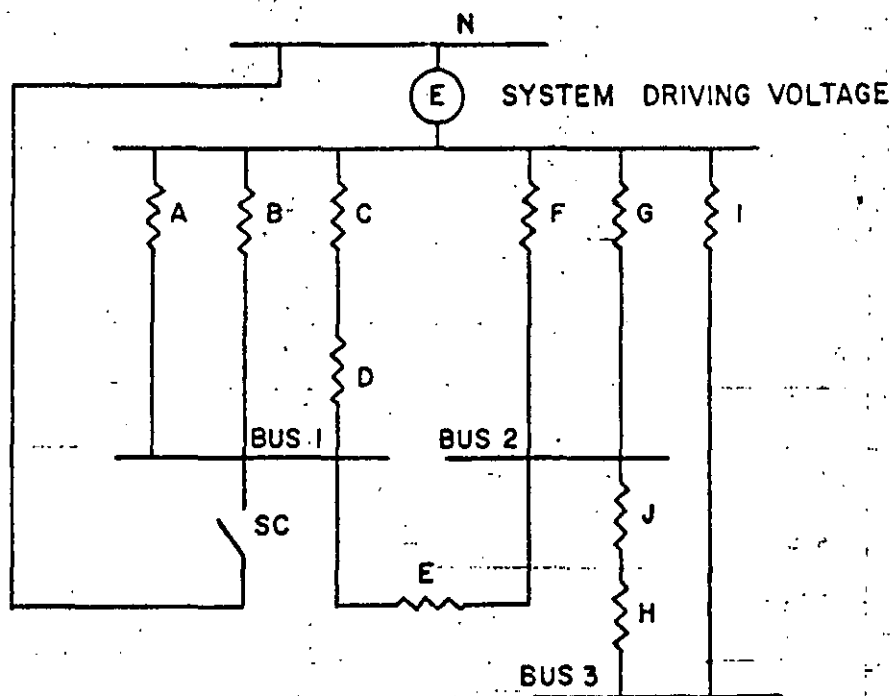


Fig. 15. An equivalent impedance diagram for the system represented in Fig. 14.

### NEGLECTING RESISTANCE

All system components have an impedance ( $Z$ ) consisting of resistance ( $R$ ) and inductive reactance ( $X$ ) where:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Many system components such as rotating machines, transformers, and reactors have high values of reactance compared to resistance. When the system impedance consists mainly of such components, the magnitude of a short-circuit current derived by the basic equation  $I = \frac{E}{Z}$  is primarily determined by the reactance so the resistance can practically be neglected in the calculation. This allows a much simpler calculation because then  $I = \frac{E}{X}$ .

Conductors (cables, buses, and open-wire lines), however, have a significant resistance compared to their reactance so that when the system impedance contains considerable conductor impedance, the resistance may have an effect on the magnitude of the short-circuit current and should be included in the calculation.

The result is the appearance of using  $Z$  or  $X$  interchangeably. The proper concept is that whenever the resistance does not significantly affect the calculated short-circuit current, a network of reactances alone can be used to represent the system impedance. When the ratio of the reactance to the resistance ( $X/R$  ratio) of the system impedance is greater than 4, negligible errors (less than 3%) will result from neglecting resistance. Neglecting  $R$  introduces some error but always increases the calculated current.

On systems above 600 volts, circuit  $X/R$  ratios usually are greater than 4 and resistance can generally be neglected in short-circuit calculations. However, on systems below 600 volts, the circuit  $X/R$  ratio at locations remote from the supply transformer can be low and the resistance of circuit conductors should be included in the short-circuit calculation. Because of their high  $X/R$  ratio, rotating machines, transformers, and reactors are generally repre-

sented by reactance only, regardless of the system voltage, an exception being transformers with impedances less than 4%. Fig. 16 summarizes the locations in a system where resistance is generally used in the short-circuit calculation.

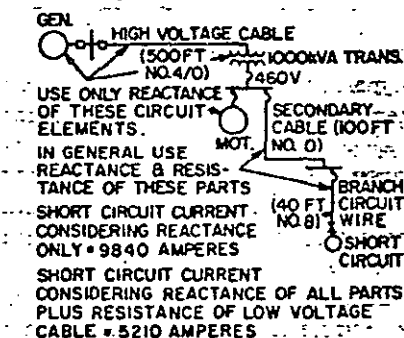


Fig. 16. Locations in system where reactance and resistance are generally used for short-circuit calculations.

### COMBINING OF IMPEDANCES

An impedance ( $Z$ ) containing resistance ( $R$ ) and reactance ( $X$ ) is a complex quantity or vector. It is frequently expressed in the form  $R + jX$ , and is illustrated in Fig. 17.

When combining impedances in series, impedances ( $Z$ ) cannot be added directly. The resistance ( $R$ ) and reactance ( $X$ ) values must be added together separately, and then  $Z$  can be computed,  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ . Fig. 18 illustrates the addition of impedances in series. Further details of complex quantity manipulation are included in the Appendix.

### PER-UNIT REPRESENTATIONS

In the per-unit system, there are four base quantities: base kVA, base volts, base ohms, and base amperes. When any two of the four are assigned values, the other two values can be derived. It is common practice to assign study base values to kVA and voltage. Base amperes and base ohms are then derived for each of the voltage levels in the system. For example, refer to Table 3 in Section III. The kVA base assigned may be the kVA rating of one of the predominant pieces of system equipment such as a generator or trans-

former, but more conveniently a number such as 10,000 is selected as base kVA. The latter selection has some advantage of commonality when many studies are made while the former choice means that the impedance or reactance of at least one significant component will not have to be converted to a new base.



$$Z = R + jX$$

where:  $R = 2$  and  $X = 6$ ,

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$= \sqrt{(2)^2 + (6)^2}$$

$$= 6.324$$

Fig. 17. Impedance vectors.

The nominal line-to-line system voltages are normally used as the base voltages. Conversion of impedances to per-unit on an assigned study kVA base will be illustrated for various equipment components. A summary of frequently used per-unit relationships follows. The Appendix contains a more detailed discussion of the per-unit system.

#### Basic per-unit relationship

$$\text{Per-unit volts} = \frac{\text{Actual volts}}{\text{Base volts}}$$

$$\text{Per-unit amperes} = \frac{\text{Actual amperes}}{\text{Base amperes}}$$

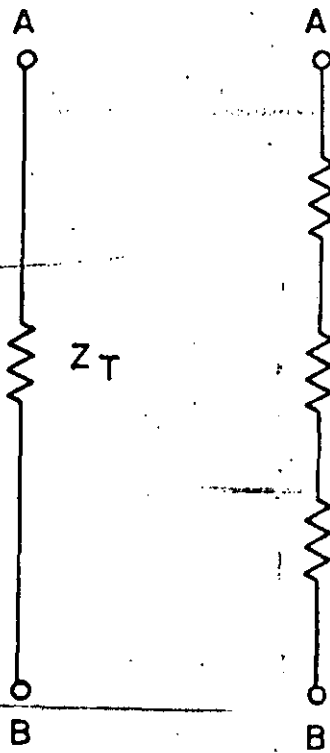
$$\text{Per-unit ohms} = \frac{\text{Actual ohms}}{\text{Base ohms}}$$

#### For three-phase systems

Assigned Values:

$$\text{Base volts} = \text{line-to-line volts}$$

$$\text{Base kVA} = \text{three-phase kVA}$$



$$Z_1 = R_1 + jX_1 = 2 + j6$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2 = 1 + j8$$

$$Z_3 = R_3 + jX_3 = 7 + j7$$

$$Z_T = (R_1 + R_2 + R_3) + j(X_1 + X_2 + X_3)$$

$$Z_T = (2 + 1 + 7) + j(6 + 8 + 7)$$

$$Z_T = R_T + jX_T = 10 + j21$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{(10)^2 + (21)^2}$$

$$Z_T = 23.26$$

Fig. 18. How impedances are added.

Derived Values:

$$\text{Base amperes} = \frac{\text{Base kVA (1000)}}{\sqrt{3} (\text{Base volts})}$$

$$= \frac{\text{Base kVA}}{\sqrt{3} \text{ Base kV}}$$

$$\text{Base ohms} = \frac{\text{Base volts}}{\sqrt{3} (\text{base amperes})}$$

$$\text{Base ohms} = \frac{\text{Base kV}^2 (1000)}{\text{Base kVA}}$$

Changing from per-cent on an old base to per-unit on a new base

$$X_{pu} = \frac{\%X}{100} \left( \frac{\text{New Base kVA}}{\text{Old Base kVA}} \right) \left( \frac{\text{Old Base Volts}^2}{\text{New Base Volts}^2} \right)$$

### THE ELECTRIC UTILITY SYSTEM

The electric utility system is usually represented by a single

equivalent reactance referred to the user's point of connection which is equivalent to the available short-circuit current from the utility. This value is obtained from the utility and may be expressed in several ways.

1. Three-phase short-circuit kVA available.
2. Three-phase short-circuit amperes available at a given voltage.
3. Per-cent or per-unit reactance on a specified kVA base.
4. Reactance in ohms-per-phase (sometimes R+JX) at a given voltage.

### Examples:

Conversion to per-unit on a 10,000 kVA base (kVA<sub>b</sub>)

1. Available 3φ short-circuit kVA = 500,000kVA (500MVA)

$$X_{pu} = \frac{kVA_b}{kVA_{sc}} = \frac{10,000}{500,000} = 0.02$$

2. Available 3φ short-circuit amperes = 20,940 at 13.8 kV

$$X_{pu} = \frac{kVA_b}{\sqrt{3} (I_{sc}) (kV)}$$

$$= \frac{10,000}{\sqrt{3} (20,940) (13.8)} = 0.02$$

3. Equivalent utility reactance = 0.2 per-unit on a 100,000 kVA base

$$X_{pu} = X_{pu_{old}} \left( \frac{kVA_b}{kVA_{old}} \right)$$

$$= 0.2 \left( \frac{10,000}{100,000} \right) = 0.02$$

4. Equivalent utility reactance = 0.38 ohms-per-phase at 13.8 kV

$$X_{pu} = X \left( \frac{kVA_b}{1000 \text{ kV}^2} \right)$$

$$= 0.38 \left( \frac{10,000}{1000 (13.8)^2} \right) = 0.02$$

Conversion to ohms-per-phase at 480 volts

1. Available 3φ short-circuit kVA = 62,270

$$X = \frac{kV^2 (1000)}{kVA} = \frac{(0.48)^2 1000}{62,270}$$

$$= 0.0037 \text{ ohms-per-phase at 480 volts}$$

2. Available 3φ short-circuit amperes = 75,000 at 480 volts

$$X = \frac{\text{Volts L-N}}{I_{sc}} = \frac{277}{75,000} = 0.0037 \text{ ohms-per-phase at 480 volts}$$

3. Equivalent utility reactance = 0.1605 per-unit on a 10,000 kVA base

$$X = X_{pu} \left( \frac{kV^2 (1000)}{kVA} \right) = 0.1605 \left( \frac{(0.48)^2 1000}{10,000} \right) = 0.0037 \text{ ohms-per-phase at 480 volts}$$

**TRANSFORMERS**

Transformer reactance (impedance) will most commonly be expressed as a per-cent value ( $\%X_T$  or  $\%Z_T$ ) on the transformer rated kVA. (Impedance values are usually expressed on the self-cooled kVA rating.)

**Examples:**

500 kVA transformer with an impedance of 5% on its kVA rating (assume impedance is all reactance)

Conversion to per-unit on a 10,000 kVA base (kVA<sub>b</sub>)

$$X_{pu} = \frac{\%X_T}{100} \left( \frac{kVA_b}{\text{Transf. kVA}} \right) = \frac{5}{100} \left( \frac{10,000}{500} \right) = 1.0$$

Conversion to ohms-per-phase at 480 volts

$$X = \frac{\%X_T}{100} \left( \frac{kV^2 1000}{\text{Transf. kVA}} \right) = \frac{5}{100} \left( \frac{(0.48)^2 1000}{500} \right) = 0.023 \text{ ohms-per-phase at 480 volts}$$

**BUSWAYS, CABLES, CONDUCTORS**

The resistance and reactance of busway, cables, and conductors will most frequently be available in terms of ohms-per-phase per unit length (see Appendix).

**Examples:**

250 ft. of a three conductor 500 mcm cable (600 volt) installed in steel conduit on a 480-volt system.

Conversion to per-unit on a 10,000 kVA base (kVA<sub>b</sub>)

$$R = 0.0294 \text{ ohms } 1000 \text{ ft.}, \\ R = 0.00735 \text{ ohms } 250 \text{ ft.}, \\ X = 0.0349 \text{ ohms } 1000 \text{ ft.}, \\ X = 0.00872 \text{ ohms } 250 \text{ ft.}$$

$$R_{pu} = R \left( \frac{kVA_b}{1000 kV^2} \right) = 0.00735 \left( \frac{10,000}{1000 (0.48)^2} \right) = 0.319$$

$$X_{pu} = X \left( \frac{kVA_b}{1000 kV^2} \right) = 0.00872 \left( \frac{10,000}{1000 (0.48)^2} \right) = 0.378$$

$$Z_{pu} = 0.319 + j.378$$

For high-voltage cables (above 600 volts) the resistance of cables can generally be omitted; in fact, for short high-voltage cable runs (less than 1000 feet) the entire impedance of the cable can be omitted with negligible error.

**ROTATING MACHINES**

Machine reactances are usually expressed in terms of per-cent reactance ( $\%X_m$ ) or per-unit reactance ( $X_{pu}$ ) on the normal rated kVA of the machine (see Appendix). Either the subtransient reactance ( $X''$ ) or the transient reactance ( $X'$ ) should be selected, depending on the type of short-circuit calculation required (refer to Table 1). Motor rated kVA can be estimated, given motor horsepower as follows:

Kind of Machine	Rated kVA =
	(V rated) (I rated)
All	1000 (exact)
Induction motors and 0.8 PF Syn motors	Rated hp (approximate)
1.0 PF Syn motors	0.8 rated hp (approximate)

**Motors Rated Above 600 Volts**

Motors rated above 600 volts are generally high in horsepower rating and will have a significant bearing on short-circuit current magnitudes. Very large motors of several thousand horsepower should be considered individually and their reactances should be accurately determined before starting the short-circuit study. However, in large plants where there are numerous motors of several hundred horsepower, each located at one bus, it is often desirable to group such motors and represent them as a single equivalent motor with one reactance in the impedance diagram.

**Motors Rated 600 Volts or Less**

In systems of 600 volts or less, the large motors (that is, motors of several hundred horsepower) are usually few in number and represent only a small portion of the total connected horsepower. These large motors can be represented individually, or they can be lumped in with the smaller motors, representing the complete group as one equivalent motor in the impedance diagram. Small motors are turned off and on frequently, so it is practically impossible to predict which ones will be on the line when a short circuit occurs. Therefore, small motors are generally lumped together and assumed to be running.

Where more accurate data are not available, the following procedures may be used in representing the combined reactance of a group of miscellaneous motors:

1. In industrial systems rated 600, 480, or volts, assume that the running motors are grouped at the transformer secondary bus and have a reactance of 25% on a kVA rating equal to 100% of the transformer rating.
2. In all 208-volt systems and 480-volt commercial building systems, a substantial portion of the load consists of lighting,

so assume that the running motors are grouped at the transformer secondary bus and have a reactance of 25% on a kVA rating equal to 50% of the transformer rating.

3. Groups of small induction motors as served by a motor control center can be represented by considering the group to have a reactance of 25% on a kVA rating equal to the connected motor horsepower.

### Examples:

**Conversion to per-unit on a 10,000 kVA base (kVA<sub>b</sub>)**

A 500 hp, 0.8 PF, synchronous motor has a subtransient reactance (X'<sub>d</sub>) of 15%.

$$X'_{pu} = \frac{\%X'_d}{100} \left( \frac{\text{kVA}_b}{\text{Motor kVA}} \right)$$

$$= \frac{15}{100} \left( \frac{10,000}{500} \right) = 3.0$$

**Conversion to ohms-per-phase at 480 volts**

A motor-control center has induction motors with a connected horsepower totaling 420 horsepower. Assume group of motors to have a reactance of 25% on a kVA rating of 420.

$$X = \frac{\%X_m}{100} \left( \frac{\text{kV}^2 1000}{\text{Motor kVA}} \right)$$

$$= \frac{25}{100} \left( \frac{(0.48)^2 1000}{420} \right)$$

= 0.137 ohms-per-phase at 480 volts

### OTHER CIRCUIT IMPEDANCES

There are other circuit impedances such as those associated with circuit breakers, current transformers, bus structures and connections which for ease of calculation are usually neglected in short-circuit calculations. Accuracy of the calculation is not generally affected because the effects of the impedances are small and omitting them provides conservative (higher) short-circuit currents. However, on low-voltage systems and particularly at 208 volts, there

are cases where their inclusion in the calculation can result in a lower short-circuit current and allow the use of lower-rated circuit components. The system designer may want to include these impedances in such cases.

### SHUNT-CONNECTED IMPEDANCES

In addition to the components already mentioned, every system includes other components or loads that would be represented in a diagram as shunt-connected impedances. Examples are lights, welders, ovens, furnaces and capacitors. A technically accurate solution requires that these impedances be included in the equivalent circuit used in calculating a short-circuit current, but practical considerations allow the general practice of omitting them. Such impedances are relatively high values and their omission will not significantly affect the calculated results.

### SYSTEM-DRIVING VOLTAGE (E)

The system-driving voltage (E) in the basic equation can be represented by the use of a single over-all driving voltage as illustrated in Fig. 15, rather than the array of individual, unequal generated voltages acting within individual rotating machines. This single driving voltage is equal to the prefault voltage at the point of fault connection. The equivalent circuit is a valid transformation accomplished by Thevenin's Theorem and permits an accurate determination of short-circuit current for the assigned values of system impedance. The prefault voltage referred to is ordinarily taken as *system nominal voltage* at the point of fault as this calculation leads to the full value of short-circuit current that may be produced by the probable maximum operating voltage.

In making a short-circuit calculation on three-phase balanced systems, a single-phase representation of a three-phase system is utilized so

that all impedances are expressed in ohms-per-phase, and the system-driving voltage (E) is expressed in line-to-neutral volts. Line-to-neutral voltage is equal to line-to-line voltage divided by the  $\sqrt{3}$ .

When using the per-unit system, if the system per-unit impedances are established on voltage bases equal to system nominal voltages, the per-unit driving voltage is equal to 1.0. In the per-unit system, both line-to-line voltage and line-to-neutral voltage have equal values; that is, both would have values of 1.0.

When system impedance values are expressed in ohms-per-phase rather than per-unit, the system-driving voltage would be equal to system line-to-neutral voltage; that is, 277 volts for a 480-volt system.

### Determination of Short-circuit Currents

After the impedance diagram is prepared, the short-circuit currents can be determined. This can be accomplished by longhand calculation, network analyzer or digital computer techniques.

In general, the presence of closed loops in the impedance network, such as might be found in a large industrial plant high-voltage system, and the need for short-circuit duties at many system locations will favor using a network analyzer or digital computer from an economic and time-saving standpoint. Simple radial systems, such as those used in most low-voltage systems, can be easily resolved by longhand calculations though digital computers can yield significant time savings particularly when short-circuit duties at many system locations are required and when resistance is being included in the calculation.

A longhand solution requires the combining of impedances in series and parallel from the source driving voltage to the location of the fault being calculated to determine the single equivalent network impedance. The calculation to derive the



symmetrical short-circuit current is  $I = E/Z$  where  $E$  is the system-driving voltage and (or  $X$ ) is the single equivalent network impedance.

When calculations are made in per-unit, the following formulas apply:

Sym. 3 $\phi$  short-circuit current in per-unit  $I_{pu} = \frac{E_{pu}}{Z_{pu}}$

Sym. 3 $\phi$  short-circuit current in amperes  $I = \frac{I_b}{Z_{pu}}$

Sym. 3 $\phi$  short-circuit  $kVA = \frac{kVA_b}{Z_{pu}}$

- where:  $I_{pu}$  = per-unit amperes,
- $Z_{pu}$  = equivalent network per-unit impedance,
- $E_{pu}$  = per-unit volts,
- $I_b$  = Base amperes,
- $kVA_b$  = Base KVA,
- = Base KVA

When calculations are made in ohms:

Sym. 3 $\phi$  short circuit in amperes  $I = \frac{E_{1-n}}{Z}$

where  $E_{1-n}$  = line-to-neutral voltage and  $Z$  = equivalent network impedance in ohms-per-phase.

A new combination of impedances to determine the single equivalent network impedance is required for each fault location.

For a radial system, the longhand solution is fairly simple. For systems containing loops, simultaneous equations may be necessary though delta-wye network transformations can usually be used to combine impedances. Methods of combining impedances are included in the Appendix. Some of the newer electronic calculators can be excellent time-savers in making long-hand calculations. Examples of long-hand calculations are included in a later section.

### NETWORK ANALYZERS AND DIGITAL COMPUTER SOLUTIONS

Network analyzers have been used for many years to make power system short-circuit studies. Quite simply, a network analyzer is a model using interconnected driving voltages and impedances to simulate a power system. Faults are actually applied to the system model and actual currents and voltages recorded. With the advent of the digital computer, however, few power system studies are still made on the network analyzer.

Digital computer solutions require the input of system data into the computer program in a manner dictated by the program being used. This may take the form of punched cards or paper tape for batch processing with the master program stored on magnetic tape. A new development in computers is the time-sharing concept where data can be submitted at a remote teletypewriter by the person making the short-circuit study. With time-sharing systems, it is not unusual to submit the required input data and receive the answers within a period of 10 to 20 minutes at a very low cost for the computer time.

Computer solutions have more than just economic benefits. Accuracy is extremely high. Calculations are practically error-free. In addition, input and output data are printed in a systematic form, providing a complete record of the study and thereby eliminating the need for further data transcription with its possibility of further error. Examples of computer solutions will be shown in Section III.

### USE OF ESTIMATING TABLES AND CURVES

There are many times when a short-circuit duty is required at the secondary of a transformer or at the end of a low-voltage conductor. Curves and tables, which give the estimated short-circuit duty, are

available for commonly used transformers and for various conductor configurations. Use of these tables may eliminate the need for a formal short-circuit study and can be used where appropriate. Estimating tables and curves are included in the Appendix, and their use is illustrated in Section III.

### Means for Reducing Short-circuit Current

There is a natural reduction of short-circuit duty due to the impedance of the conductors from the power source to the loads. For example, the short-circuit duty at the terminals of a 1500 kVA, 480-volt transformer may be 35,000 amperes, while at the end of a 600-amp cable run, the duty may be 13,000 amperes. But beyond this natural reduction in short-circuit duty, it is sometimes desired or necessary to insert additional impedance in the form of reactance to achieve a lower required duty for application of some specific equipment. This can be done with current-limiting reactors (all voltages) or current-limiting busways (600 volts and below).

For instance, the available short-circuit duty from a utility service supplying a plant or building may be 850 MVA at 13.8 kV. This would require 1000 MVA circuit breakers for the in-plant or in-building system. A more economical approach might be to apply current-limiting reactors on the incoming line to reduce the available duty to less than 500 MVA so that lower-cost 500-MVA circuit breakers can be applied.

Example Two in Section III illustrates the use of a current-limiting busway to reduce the available short-circuit duty from a 480-volt spot network.

The general procedure is to determine the additional reactance required to reduce the short-circuit duty to the desired level as follows:

$$X = \frac{E}{I_{desired}} - \frac{E}{I_{available}}$$

## Introduction

The following examples illustrate how short-circuit currents are calculated by several of the procedures described in Sections I and II. Included are typical industrial and commercial building power systems and the method of calculation normally used in each. It is understood, however, that the selection of the method of calculation must be coordinated with the particular system design shown in the previous sections.

## Example One: The Industrial Power System

### STEP A—THE SYSTEM ONE-LINE DIAGRAM

Fig. 19 shows a one-line diagram of an industrial power system. It contains the basic information that identifies the various electric components of the system and shows how they are interconnected. The diagram also includes:

1. The utility short-circuit duty.
2. The kVA and impedance of transformers T1, T2, and T3.
3. The type, size, and reactance(s) of machines G1, M1, M2, M3, and the induction motors on bus 2.
4. The cable type, length, and impedance of the cable between bus 2 and bus 4. (Cables serving T2 and T3 are not included because their length is such that impedance is negligible.)

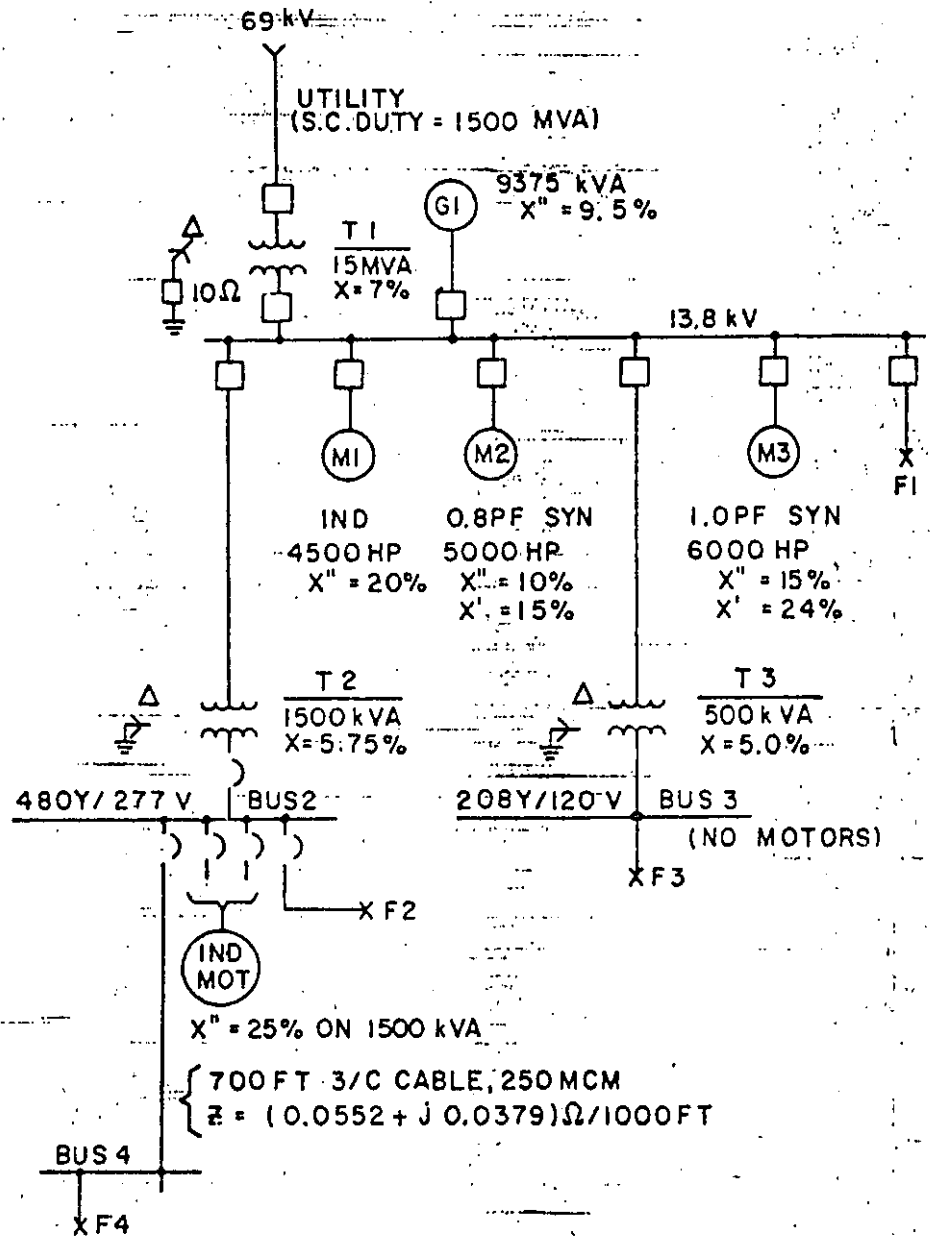


Fig. 19. A one-line diagram of an industrial power system.

### STEP B—TYPE AND LOCATION OF SHORT CIRCUITS

Protective devices are located at buses 1, 2, 3 and 4, and these are the locations where short-circuit currents are required. Fault locations F1, F2, F3, and F4 are designated. High-voltage power-circuit breakers are located at bus 1; therefore, both a momentary current and interrupting current will be calculated. Low-voltage circuit breakers and equipment are located at buses 2, 3, and 4, thus requiring a symmetrical short-

circuit current calculation at these buses.

Three-phase bolted faults will be calculated because maximum values are needed for device selection. The most severe duty will occur when all breakers are closed, the utility is connected, and G1, M1, M2, M3, and all other induction motors are operating.

### STEP C—SYSTEM IMPEDANCE DIAGRAMS

The one or more impedance diagrams should be patterned after the one-line diagram. The arrangement

of elements should assist easy identification of any given component in the two types of diagrams (one-line vs. impedance) even though identification of components and significant points in the circuits may become impossible as the network is resolved into a single-value impedance.

The per-unit system lends itself to analysis of this system because of the several voltage levels. A base kVA of 15,000 will be assigned. The assigned base voltages will be the nominal system voltages of 13,800, 480, and 208 volts. Base amperes and base ohms for each of the volt-

# Section III— Examples of ac Short-circuit Calculations

**Table 3—Three-phase Values for Example One.**

Assigned Values		Derived Values	
kVA <sub>H</sub>	kV <sub>H</sub>	I <sub>H</sub>	Z <sub>H</sub>
15,000	13.8	627	12.7
15,000	0.480	18040	0.0154
15,000	0.208	41600	0.00789

age levels can then be derived as shown in Table 3.

Figs. 20 and 21 are the impedance diagrams for the one-line diagram in Fig. 19. The impedance diagram in Fig. 20 contains machine subtransient reactances (X') for calculating

high-voltage circuit-breaker momentary current at fault location F1 and symmetrical current at F2, F3, and F4. Fig. 21 is the impedance diagram for the calculation of high voltage circuit breaker interrupting current at fault location F1. Note that it contains transient reactances (X'') for the synchronous motors M2 and M3, does not include induction motors. Transformers T2 and T3 and the 480-volt feeder are omitted because they are not involved in the calculation.

The per-unit values for all component impedances in Fig. 20 are derived and listed as follows:

$$\text{Utility—}X = \frac{15,000}{1,500,000} = 0.01 \text{ pu}$$

$$\text{Transf. T1—}X = \frac{7 (15,000)}{100 (15,000)} = 0.07 \text{ pu}$$

$$\text{Gen. G1—}X = \frac{9.5 (15,000)}{100 (9,375)} = 0.152 \text{ pu}$$

$$\text{Mot. M1—}X = \frac{20 (15,000)}{100 (4,500)} = 0.666 \text{ pu}$$

$$\text{Mot. M2—}X = \frac{10 (15,000)}{100 (5,000)} = 0.3 \text{ pu}$$

$$\text{Mot. M3—}X = \frac{15 (15,000)}{100 (6000 \times 0.8)} = 0.468 \text{ pu}$$

$$480\text{V Mot. —}X = \frac{25 (15,000)}{100 (1,500)} = 2.5 \text{ pu}$$

$$\text{Transf. T2—}X = \frac{5.75 (15,000)}{100 (1,500)} = 0.575 \text{ pu}$$

$$\text{Transf. T3—}X = \frac{5 (15,000)}{100 (500)} = 1.5 \text{ pu}$$

480V Fdr—250 MCM, 3 C cable  
 $Z(700 \text{ ft}) = 7(0.0552 + j.0379) = 0.386 + j.0265 \text{ ohms-per-phase}$   
 $R = \frac{0.386 (15,000)}{1000 (0.48)^2} = 2.51 \text{ pu}$   
 $X = \frac{0.0265 (15,000)}{1000 (0.48)^2} = 1.73 \text{ pu}$

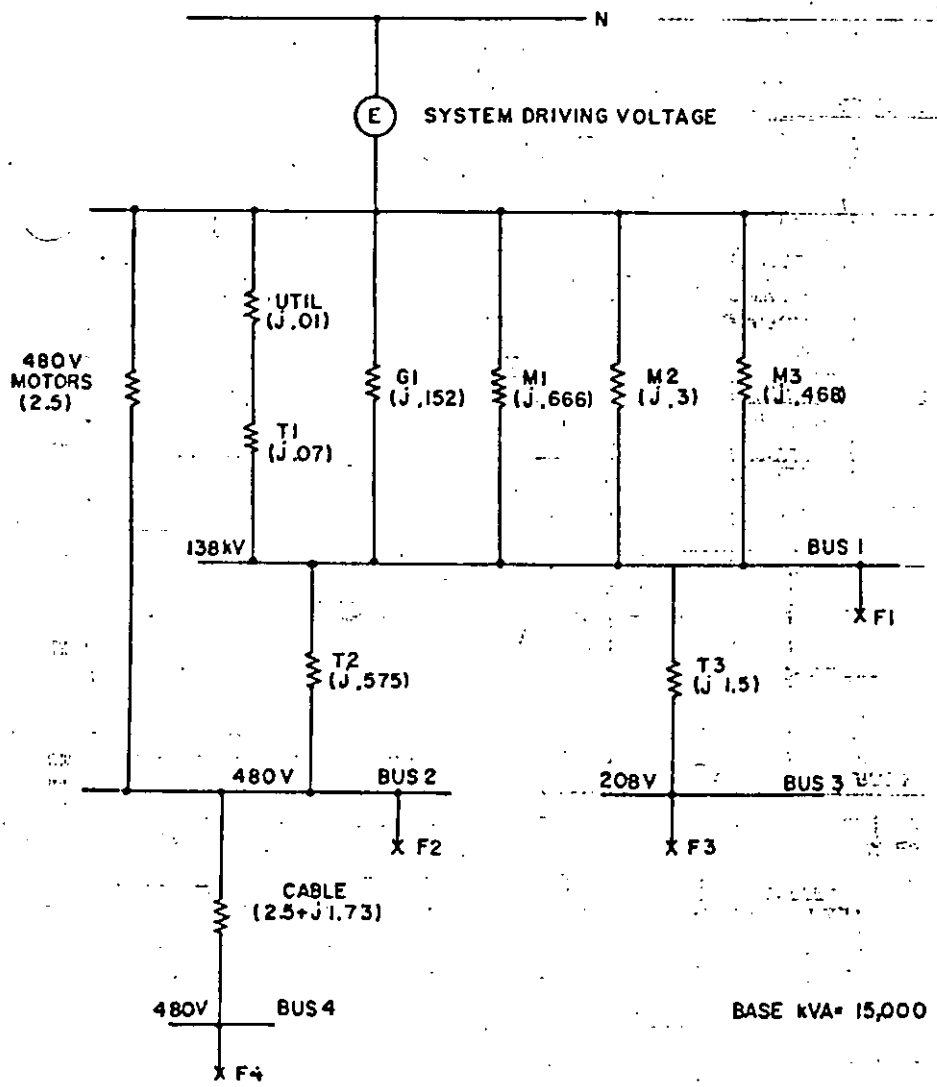
The per-unit values for all component impedances in Fig. 21 are derived and listed as follows:

Utility—X = 0.01 pu  
 Transf. T1—X = 0.07 pu  
 Gen. G1—X = 0.152 pu  
 Mot. M2—X =  $\frac{15 (15,000)}{100 (5,000)} = 0.45 \text{ pu}$   
 Mot. M3—X =  $\frac{24 (15,000)}{100 (6000 \times 0.8)} = 0.75 \text{ pu}$

## STEP D— CALCULATION OF FAULT DUTIES

The longhand calculations for this example are intentionally kept simple to emphasize the procedures. The network resolutions employ only series additions and parallel combinations of impedances, involving ordinary arithmetic with only a touch of complex-number operations. Details of network resolutions are contained in the Appendix.

The base voltages were assigned values equal to the nominal system voltages which are equivalent to the pre-fault or operating voltage. This means that the system per-unit driving voltage (E) equals 1.0.



**Fig. 20. An impedance diagram for calculating HVCB momentary current and L-V symmetrical current for system shown in Fig. 19.**

A total of five cases will be systematically presented by: (1) indicating an applicable network; (2) resolving it to a single-value impedance; (3) calculating a symmetrical current (or kVA), and (4) applying a proper multiplying factor, if required.

### Case One—Fault at F1: Momentary Current

The impedances of Fig. 20 are to be resolved into a single reactance value that limits the current for a three-phase fault at F1. The procedure requires addition of series-branch values directly and addition of reciprocals of parallel-branch values as indicated below:

Branch	1/X
Utility—T1	1/(0.01+0.07)=12.50
G1	1/0.152 = 6.58
M1	1/0.666 = 1.50
M2	1/0.3 = 3.33
M3	1/0.468 = 2.13
Mot-T2	1/(2.5+0.575)=0.33
	<u>26.37</u>

Equivalent  $X_{F1} = 1/26.37 = 0.0379$  pu

The symmetrical fault current at F1 in per-unit is  $E/X$  or:

$$I = \frac{E}{X_{F1}} = \frac{1.0}{0.0379} = 26.37 \text{ pu (symmetrical)}$$

$$I = 26.37 (I_b) = 26.37 (627) = 16,537 \text{ amperes (symmetrical)}$$

The power-circuit-breaker momentary duty is given in asymmetrical amperes, and this value is determined by using the multiplier of 1.6 from Table 1.

$$I = 16,537 (1.6) = 26,460 \text{ amperes (asymmetrical)}$$

This value would be compared to the momentary rating of the 13.8 kv power-circuit breakers.

### Case Two—Fault at F1: HV Circuit-breaker/ Interrupting kVA

The impedances of Fig. 21 can be resolved in a manner similar to Case 1 in order to determine the three-

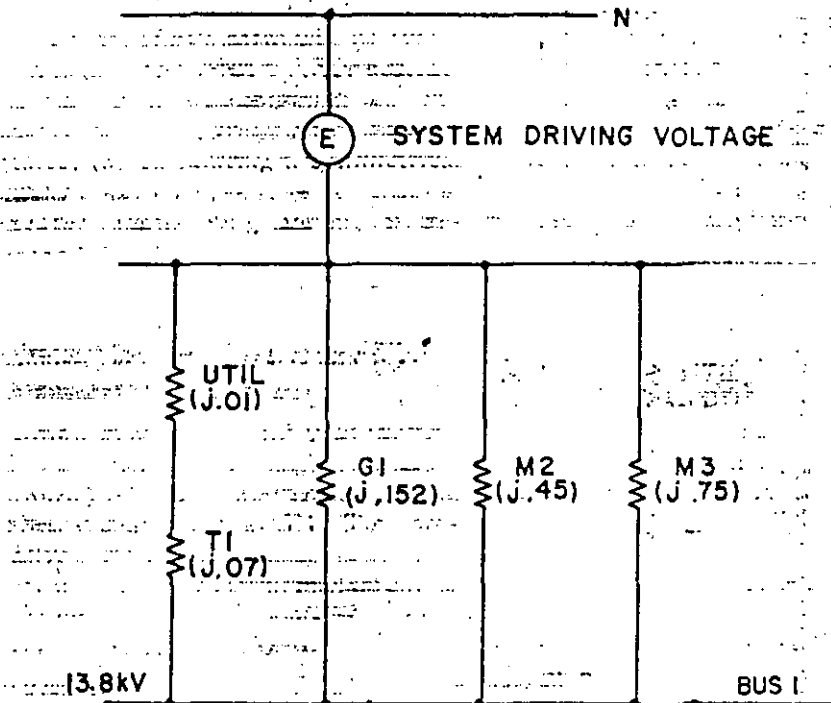


Fig. 21. An impedance diagram for calculating HVPCB interrupting current for system shown in Fig. 19.

### Case Three—Fault at F2: LV Symmetrical Current

Branch	1/X
Utility—T1	1/(0.01+0.07)=12.50
G1	1/0.152 = 6.58
M2	1/0.45 = 2.22
M3	1/0.75 = 1.33
	<u>22.63</u>

Equivalent  $X_{F1} = 1/22.63 = 0.0441$  pu

The power-circuit breaker interrupting rating is expressed in symmetrical amperes or kVA (8 cycle breaker), and these values can be calculated as follows for a fault at F1:

$$I = \frac{I_b}{X_{F1}} = \frac{627}{0.0441} = 14,190 \text{ amperes (symmetrical)}$$

$$kVA = \frac{kVA_b}{X_{F1}} = \frac{15,000}{0.0441} = 339,000 \text{ kVA}$$

(symmetrical) (These equations are other forms of the basic  $I = E/Z$  calculation of Case 1.)

The impedance network of Fig. 20 must be rearranged from that of Case 1 to determine the single fault at F2 as follows:

Branch	1/X
Utility—T1	12.50
G1	6.58
M1	1.50
M2	3.33
M3	2.13
1/X1	= 26.04
X1	= 0.0384

$$X1 + T2 = 0.0384 + 0.575 = 0.6134$$

$$\text{Equivalent } X_{F2} = \frac{(X_{mot})(X1 + T2)}{X_{mot} + (X1 + T2)} = \frac{2.5(0.6134)}{2.5 + 0.6134} = 0.4925$$

The symmetrical fault current at F2 is:

# Section III — Examples of ac Short-circuit Calculations

$$I = \frac{I_b}{X_{F2}} = \frac{18,040}{0.4925} = 36,600 \text{ amperes}$$

(symmetrical)

Low-voltage power-circuit breakers are rated in symmetrical amperes.

## Case Four — Fault at F3: LV symmetrical current

The equivalent reactance to bus 1 has already been calculated in Case 1 to be 0.0379. The equivalent reactance for a fault at F3 is therefore:  
Equivalent  $X_{F3} = 0.0379 + T3$

$= 0.0379 + 1.5 = 1.5379$   
The symmetrical fault current at F3 is:

$$I = \frac{I_b}{X_{F3}} = \frac{41,600}{1.5379} = 27,050 \text{ amperes}$$

(symmetrical)

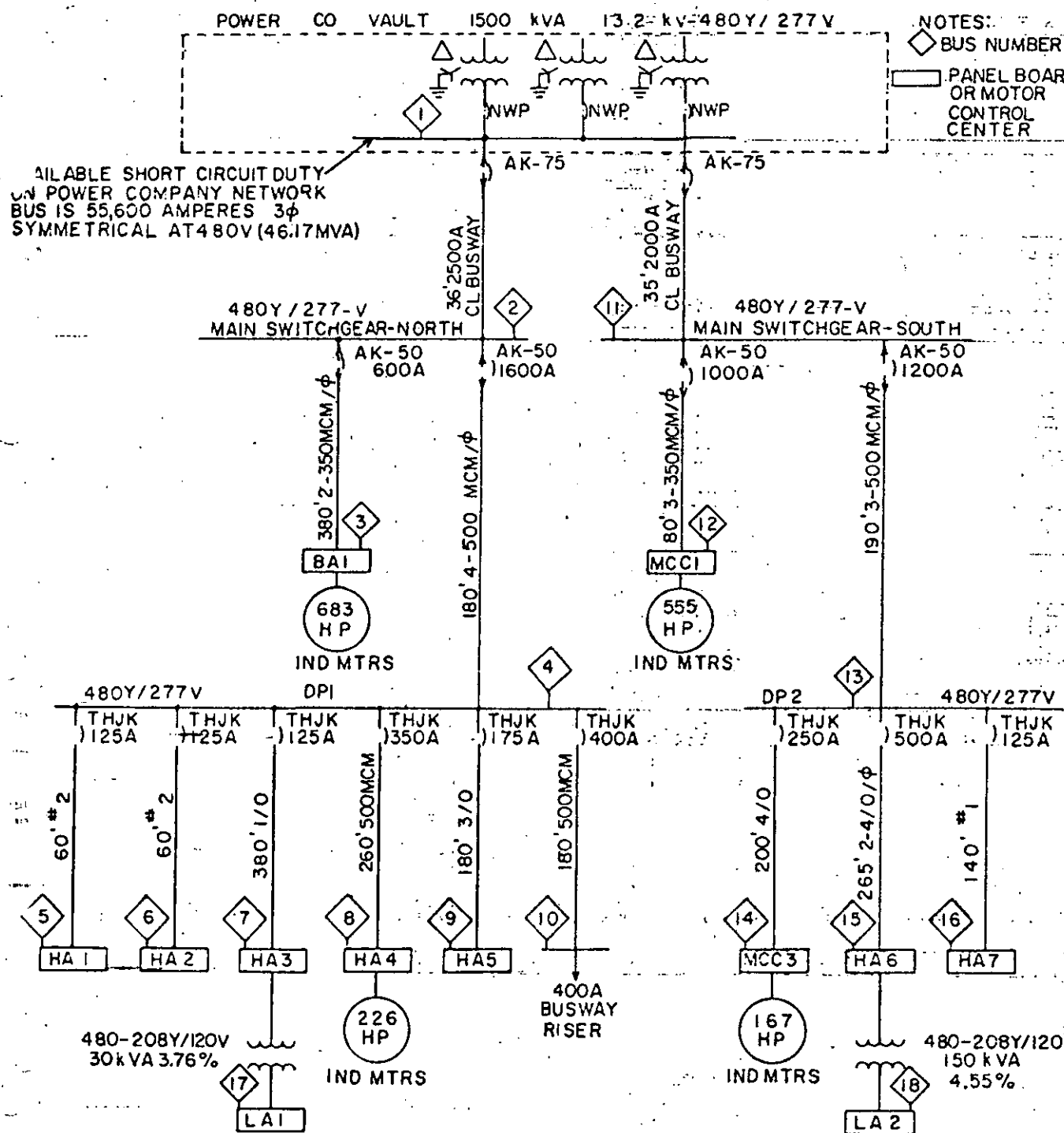


Fig. 22. A one-line diagram for a typical building served from 480Y/277-volt network.

**Case Five—Fault at F4:  
LV symmetrical current**

The equivalent reactance to bus 2 has already been calculated in Case 3 to be 0.4925. The cable impedance to bus 4 contains significant resistance which will be included in the calculation for a fault at F4 as follows:

$$X_{F3} = j.4925$$

$$Z_c = 2.5 + j1.73$$

$$Z_{F4} = 2.5 + j2.22$$

The symmetrical fault current at F4 is:

$$I = \frac{I_b}{Z_{F4}} = \frac{18,040}{2.5 + j2.22} = 5,396 \text{ amperes (symmetrical)}$$

**Example Two: The Building Power System**

**STEP A—THE SYSTEM ONE-LINE DIAGRAM**

Fig. 22 is a one-line diagram of a building power system served from a utility spot network. The diagram includes:

1. The utility short-circuit duty at the network bus.
2. The conductor type and length.
3. The kVA and impedance of 30 and 150 kVA transformers.
4. The lumped connected horsepower of induction motors.

most buses are at the 480-volt level, system impedances can be represented in ohms rather than per-unit and the calculations made directly. All impedances are shown in ohms-per-phase. The impedance values as shown on the diagram are derived as follows:

Utility Spot Network—available short-circuit duty at 480-volts = 55,600 amperes rms symmetrical.

$$\text{Equivalent } X = \frac{E_{1-\phi}}{I_{sc}} = \frac{277V}{55,600} = 0.00498 \text{ ohms/phase}$$

Motors (typical)—555 hp of induction motors connected to motor-control center MCC 1.

Assume reactance of 25% on kVA base to be equal to motor hp:

$$X = \frac{\%X_m}{100} \left( \frac{kV^2 \cdot 1000}{\text{Motor kVA}} \right) = \frac{25}{100} \left( \frac{(.48)^2 (1000)}{555} \right) = 0.104 \text{ ohms/phase}$$

Conductors (typical)—Feeder to Panel BA1 380 ft. of two 350 MCM cables-per-phase.

Impedance of 350 MCM cable is 0.0378 + j.0491 ohms/1000 ft.

$$Z = \frac{380 (0.0378 + j.0491)}{1000 \cdot 2 (\text{cables}/\phi)} = 0.0072 + j.0093 \text{ ohms/phase}$$

**STEP D—CALCULATION OF FAULT DUTIES**

The impedances of Figure 23 are resolved into a single equivalent impedance for each fault location. Techniques for the resolution of parallel impedances when the impedances are complex numbers (R & jX) are discussed in detail in the Appendix.

Many of the circuits in the example radial system have impedances in series, and equivalents are determined by summing resistance and reactance components separately. Where the utility and induction motor sources of short-circuit current act together, impedance paralleling is necessary, and this is done by summing reciprocals.

A record is kept of the steps used to calculate the short-circuit currents, because many of the impedance combinations found initially

**STEP B—TYPE AND LOCATIONS OF SHORT-CIRCUITS**

Short-circuit currents are required at all buses where protective devices will be located (buses 1 through 18). A symmetrical short-circuit current is required since all devices are rated 480 volts and below. Three-phase bolted-fault values are required. The most severe duty will occur with all breakers closed, with a maximum short-circuit duty of 55,600 amperes 3φ sym from the utility spot network.

**STEP C—SYSTEM IMPEDANCE DIAGRAMS**

The impedance diagram for this system is shown in Fig. 23. Since

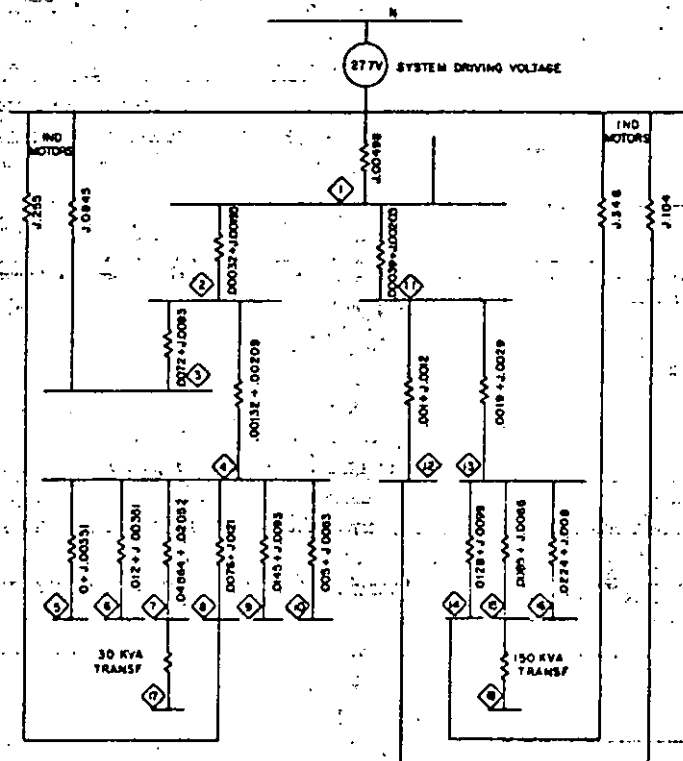


Fig. 23. An Impedance diagram for building system shown in Fig. 22.

# Section III—Examples of ac Short-circuit Calculations

are used repeatedly and can simply be copied. For recording purposes, utility and motor sources of short-circuit current are identified in this example with their bus number preceded by the letter S.

Following are the calculations and impedance combinations used in determining the short-circuit current.

Bus 1:

(1)  $Z_u$ , utility system S1, as previously determined:

$$Z_u (S1) = 0 + j0.00498 \Omega$$

(2)  $Z_m$ , 683 hp of induction motors and feeders to bus 2 (S3-2):

$$\begin{aligned} \text{motors (S3)} &= 0 + j0.0845 \\ \text{feeder, bus 3 to 2} & \\ (3-2) &= \frac{0.0072 + j0.0093}{\phantom{0.0072 + j0.0093}} \\ \text{total, } Z_m (S3-2) &= 0.0072 + j0.0938 \Omega \end{aligned}$$

(3)  $Z_m$ , 226 hp of induction motors and feeders to bus 2 (S8-2):

$$\begin{aligned} \text{motors (S8)} &= 0 + j0.255 \\ \text{feeder, bus 8 to 4} & \\ (8-4) &= 0.0076 + j0.0121 \\ \text{feeder, bus 4 to 2} & \\ (4-2) &= 0.00132 + j0.00209 \\ \text{total, } Z_m (S8-2) &= 0.00892 + j0.2692 \Omega \end{aligned}$$

(4)  $Z_m$ , parallel combination of  $Z_m$  and  $Z_u$  (S3, 8-2):

$$\begin{aligned} \text{(a) Components of } 1/Z_m \text{ are} \\ G_m &= R_m / (R_m^2 + X_m^2) \\ &= 0.0072 / ((0.0072)^2 + (0.0938)^2) \\ &= 0.0072 / 0.00885 = 0.814 \text{ mho} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -B_m &= X_m / (R_m^2 + X_m^2) \\ &= 0.0938 / 0.00885 = 10.60 \text{ mho} \\ 1/Z_m &= 0.814 - j10.60 \text{ mho} \end{aligned}$$

(b) Components of  $1/Z_u$  are

$$\begin{aligned} G_u &= 0.00892 / ((0.00892)^2 + (0.2692)^2) \\ &= 0.00892 / 0.07255 = 0.123 \text{ mho} \\ -B_u &= 0.2692 / 0.07255 = 3.71 \text{ mho} \\ 1/Z_u &= 0.123 - j3.71 \text{ mho} \\ 1/Z_d &= 1/Z_m + 1/Z_u = 0.937 - j14.31 \text{ mho} \end{aligned}$$

(c) Components of  $Z_d$  are

$$\begin{aligned} R_d &= G_d / (G_d^2 + B_d^2) \\ &= 0.937 / ((0.937)^2 + (14.31)^2) \\ &= 0.937 / 205.7 = 0.00456 \Omega \\ X_d &= -B_d / (G_d^2 + B_d^2) \\ &= 14.31 / 205.7 = 0.0696 \Omega \\ Z_d (S3,8-2) &= 0.00456 + j0.0696 \Omega \end{aligned}$$

(5)  $Z_m$ , impedance  $Z_d$  and feeder to bus 1 (S3, 8-1):

$$\begin{aligned} Z_d (S3,8-2) &= 0.00456 + j0.0696 \\ \text{feeder, bus 2 to 1} & \\ (2-1) &= 0.00032 + j0.00195 \\ \text{total, } Z_m (S3,8-1) &= 0.00488 + j0.07155 \Omega \end{aligned}$$

(6)  $Z_m$ , 555 hp of induction motors and feeders to bus 11 (S12-11):

$$\begin{aligned} \text{motors (S12)} &= 0 + j0.104 \\ \text{feeder, bus 12 to 11} & \\ (12-11) &= 0.001 + j0.0012 \\ \text{total, } Z_m (S12-11) &= 0.001 + j0.1052 \Omega \end{aligned}$$

(7)  $Z_m$ , 167 hp of induction motors and feeders to bus 11 (S14-11):

$$\begin{aligned} \text{motors (S14)} &= 0 + j0.346 \\ \text{feeder, bus 14 to 13} & \\ (14-13) &= 0.0128 + j0.0099 \\ \text{feeder, bus 13 to 11} & \\ (13-11) &= 0.0019 + j0.0029 \\ \text{total, } Z_m (S14-11) &= 0.0147 + j0.3588 \Omega \end{aligned}$$

(8)  $Z_m$ , parallel combination of  $Z_m$  and  $Z_u$  (S12, 14-11), using the method detailed when calculating  $Z_d$ :

$$\begin{aligned} 1/Z_t &= 0.0904 - j 9.505 \\ 1/Z_u &= 0.1140 - j 2.782 \\ 1/Z_m &= 0.2044 - j12.287 \text{ mho} \\ Z_m (S12,14-11) &= 0.00135 - j0.0814 \Omega \end{aligned}$$

(9)  $Z_m$ , impedance  $Z_m$  and feeder to bus 1 (S12, 14-1):

$$\begin{aligned} Z_m (S12,14-11) &= 0.00135 + j0.0814 \\ \text{feeder, bus 11 to 1} & \\ (11-1) &= 0.00039 + j0.00203 \\ \text{total } Z_m (S12,14-1) &= 0.00174 + j0.0834 \Omega \end{aligned}$$

(10)  $Z_m$ , parallel combination of  $Z_m$ ,  $Z_m$ , and  $Z_u$  (S1, 3, 8, 12, 14-1), total equivalent impedance for bus 1 short circuit:

$$\begin{aligned} 1/Z_s &= 0 - j200.8 \\ 1/Z_m &= 0.949 - j 13.91 \\ 1/Z_t &= 0.250 - j 11.99 \\ 1/Z_j &= 1.199 - j226.7 \text{ mho} \\ Z_s (S1,3,8,12,14-1) &= 0.00002 + j0.00441 \Omega \\ Z_s &= \sqrt{(0.00002)^2 + (0.00441)^2} \\ &= 0.00441 \Omega \end{aligned}$$

The short-circuit current at bus 1 is  
 $I_1 = E_{L-N} / Z = 277 / 0.00441 = 62\ 810 \text{ A, symmetrical rms}$

# Section III—Examples of ac Short-circuit Calculations

### Bus 2:

For the short-circuit current at bus 2, similar impedance reduction calculations are recorded in an abbreviated table as follows:

Element*		Z		G	1/Z	-B	Sum of Squares†
		R	X				
S12,14-1	(Z <sub>a</sub> )	0.00174	0.0834	0.250	11.99		0.00696
S1	(Z <sub>o</sub> )	0	0.00498	0	200.8		
S1,12,14-1		0.00001	0.00470	0.250	212.79		45 280
1-2		0.00032	0.00195				
S1,12,14-2		0.00033	0.00665	7.444	150.00		4.433 × 10 <sup>-4</sup>
S3-2	(Z <sub>b</sub> )	0.0072	0.0938	0.814	10.6		0.00885
S8-2	(Z <sub>c</sub> )	0.00892	0.2692	0.123	3.71		0.07255
S1,3,8,12,14-2		0.00031	0.00607	8.281	163.31		27 070

\*Source, branch, or combination.

† $R^2 + X^2$  when finding  $1/Z$  from  $Z$ ,  $G^2 + B^2$  when finding  $Z$  from  $1/Z$ .

The total equivalent impedance is

$$Z = \sqrt{(0.00031)^2 + (0.00607)^2} = 0.00608 \Omega$$

and the short-circuit current at bus 2 is

$$I_2 = 277/0.00608 = 45\ 560 \text{ A,}$$

symmetrical rms

### Bus 3:

For the bus 3 short-circuit current the abbreviated table is as follows:

Element		Z		G	1/Z	-B	Sum of Squares
		R	X				
S1,12,14-2		0.00033	0.00665	7.444	150.00		4.433 × 10 <sup>-4</sup>
S8-2		0.00892	0.2692	0.123	3.71		0.0725
S1,8,12,14-2		0.00032	0.00651	7.567	153.71		23 680
2-3		0.0072	0.0093				
S1,8,12,14-3		0.00752	0.01581	24.535	51.58		3.065 × 10 <sup>-4</sup>
S3		0	0.0845	0	11.83		
S1,3,8,12,14-3		0.00531	0.01372	24.535	63.41		4623

The total equivalent impedance is

$$Z = \sqrt{(0.00531)^2 + (0.01372)^2} = 0.147 \Omega$$

and the short-circuit current at bus 3 is

$$I_3 = 277/0.147 = 18\ 840 \text{ A,}$$

symmetrical rms



Bus 4:

For the bus 4 short-circuit current the values are as follows:

Element	R	Z	X	G	1/Z	-B	Sum of Squares
S1,12,14-2	0.00033	0.00685	—	7.444	150.00	—	4.433 X 10 <sup>-3</sup>
S3-2	0.0072	0.0938	—	0.814	10.60	—	0.00885
S1,3,12,14-2	0.00032	0.00671	—	8.258	160.60	—	25.860
2-4	0.00132	0.00209	—	—	—	—	—
S1,3,12,14-4	0.00164	0.00830	—	22.91	115.95	—	7.158 X 10 <sup>-3</sup>
S8	0	0.255	—	—	—	—	—
8-4	0.0076	0.0121	—	—	—	—	—
S8-4	0.0076	0.2671	—	0.11	3.74	—	0.0714
S1,3,8,12,14-4	0.00155	0.00806	—	23.02	119.69	—	14.860

The total equivalent impedance is

$$Z = \sqrt{(0.00155)^2 + (0.00806)^2} = 0.00821 \Omega$$

and the short-circuit current at bus 4 is

$$I_s = 277 / 0.00821 = 33\ 740 \text{ A, symmetrical rms}$$

Similar calculations for short-circuit currents at the remaining buses provide the following results:

Bus	Symmetrical Rms Short-circuit Current Amperes
5	23740
6	15560
7	4790
8	13380
9	11720
10	15730
11	44760
12	37750
13	30040
14	12030
15	14690
16	9280

Bus 17:

Transformer reactance in ohms/phase at 208 volts.

$$X_1 = \frac{\% X_1}{100} \left( \frac{kV^2 \cdot 1000}{\text{Transf kVA}} \right) = \frac{3.76}{100} \left( \frac{(0.208)^2 \cdot 1000}{30} \right) = 0.05422 \text{ ohms/phase at 208 volts}$$

Equivalent impedance to bus seven was calculated to be 0.05028 + j.02892 ohms/phase at 480 volts. These values are changed to a 208-volt level as follows:

$$(0.05028 - j.02892) \left( \frac{208}{480} \right)^2 = 0.00944 + j.00543$$

Total equivalent impedance to bus 17 equals:

$$\frac{j.05422}{0.00944 - j.00543} = 0.06041$$

$$I_{17} = \frac{120}{0.06041} = 1987 \text{ amperes (symmetrical rms)}$$

The short-circuit current at a 208-volt bus can also be calculated using per-unit as follows:

Bus 18\*:

Solving in per-unit with a 150 kVA base.

$$\text{Short-circuit kVA at Bus 15} = \sqrt{3}(0.48)(14,690) = 12,213$$

System available on primary of

$$\text{transformer} = \frac{150}{12,213} = 0.0123 \text{ pu}$$

$$\text{Transformer X} = 0.0455 \text{ pu}$$

$$\text{Tot. Equiv. Imp.} = 0.0578 \text{ pu}$$

At a base voltage of 208 volts, the base current,  $I_b = \frac{150}{\sqrt{3} \times 0.208} = 416 \text{ A}$

$$I_{18} = \frac{I_b}{X_{pu}} = \frac{416}{0.0578} = 7197 \text{ amperes (symmetrical rms)}$$

\* In this calculation available duty was assumed to be all reactive. The complex value of impedance could have been used for a more accurate result.

COMMENTS ON EXAMPLE TWO

This example illustrates the use of a current-limiting busway to reduce the short-circuit current at the main switchboards (buses two and eleven). If a conventional busway were used, the short-circuit current at these buses would have been only slightly less than at the network bus.

Identical feeders feed buses five and six from bus four. The calculation included R + jX for bus six but only jX for bus five. The short-circuit currents for buses five and six are 23740 amperes and 15560 amperes respectively. This illustrates why resistance should be used in low-voltage fault calculations.

### Example Three—Computer Solution

Many computer programs have been written for the calculation of short-circuit currents. The systems designer who knows how to use these programs benefits from the computer's well-known accuracy and speed.

A typical computer solution for the building system described in Example Two and shown in Fig. 22 will be illustrated.

A separate data-reduction computer program is used to convert raw data (transformer kVA, cable and busway size and length, motor horsepower, etc.)—into impedance

values. Using  $X/R$  ratios, transient and sub transient reactance,  $R$  and  $X$  values are calculated which provide more exact values of short-circuit current than is normally done with hand calculations. The  $R$  and  $X$  values are converted into per unit values which are used as an input to the computer program for calculating short-circuit currents. The first section contains the project identification, the second section shows the input data (per unit) obtained from the data reduction program and the third section shows the output data. This includes for each bus the total short-circuit current available, the contribution from other buses and the  $X/R$  ratio.

The time required once the one-line diagram, Figure 22, was complete was less than one hour for someone experienced with the program. Approximately 30 minutes was required to place the information from Figure 22 in a format suitable for entering in the computer, approximately 15 minutes was spent at the teletypewriter entering the information and five minutes was required for printout. Only a small fraction was actual computer calculating time, not only does the computer calculate faster and more accurately but the necessity of making an impedance diagram is eliminated. Raw data from the one-line diagram may be used.

### Computer Printout, pg. 30 & 31

### Example Four: Estimating Short Circuits

Tables and curves can be very useful in estimating short-circuit duty. For example, consider the 1500 kVA transformer T2 Fig. 19, Example One. The primary available short-circuit duty as calculated for a

fault at F1 in Example One is 339 MVA. Referring to Table 4 for a 1500 kVA, 480-volt, 5.75% transformer with 500 MVA primary available and 100% motor short-circuit contribution, we see the secondary short-circuit current is 37,700 amperes (rms symmetrical). This compares with the 36,600 am-

peres calculated for a fault at F2 in Example One.

Also, the short-circuit current at E4 at the end of the 700 ft. 250 MCM cable can be estimated from Fig. 25-29 to be 5500 amperes (symmetrical) which compares with the calculated value of 5390 amperes in Example One.

# Section III— Examples of ac Short-circuit Calculations

GENERAL ELECTRIC CO.

50 BUS SHORT CIRCUIT PROGRAM- 60 HERTZ

CASE 1. 11/14/75 - BASE MVA : 10000

FIRST CYCLE FAULT CURRENT CALCULATIONS  
FOR BUILDING SERVED FROM 480/277 VOLT NETWORK  
-SAMPLE PROBLEM

INPUT DATA

BUS	TO	BUS	= R	JX
0	1		0.01083	0.21659
7	17		11.6369	4.6548
15	18		1.2693	2.755
1	2		0.01406	0.08438
1	11		0.01701	0.08811
2	3		0.3123	0.4036
2	4		0.0573	0.0907
11	12		0.0434	0.0521
11	13		0.0825	0.1259
13	15		0.3689	0.2865
4	5		0	0.1523
4	6		0.5208	0.1523
4	7		2.1111	0.8906
4	8		0.3299	0.5252
4	9		0.6293	0.4036
4	10		0.217	0.3602
13	14		0.5556	0.4297
13	16		0.9722	0.3472
0	3		0.2002	4.3924
0	8		1.0495	13.2743
0	12		0.2677	5.4054
0	14		1.72	17.9641

RESULTS IN SYM KILDAMPS

BUS 1 = 61.5211 ( 51.148 MVA) X/R = 18.454 VOLT= 0.48 KV

CONTRIBUTION :

BUS 2 = 3.2771 BUS 4 = 2.785 GEN = 55.4648

BUS 2 = 44.5965 ( 37.077 MVA) X/R = 11.585 VOLT= 0.48 KV

CONTRIBUTION :

BUS 1 = 41.2424 BUS 3 = 2.4938 BUS 4 = 0.8616

BUS 3 = 18.2422 ( 15.166 MVA) X/R = 2.398 VOLT= 0.48 KV

CONTRIBUTION :

BUS 2 = 15.7001 GEN = 2.7356

BUS 4 = 33.0595 ( 27.485 MVA) X/R = 4.578 VOLT= 0.48 KV

CONTRIBUTION :

BUS 2 = 32.1982 BUS 5 = 0 BUS 6 = 0

BUS 7 = 0 BUS 8 = 0.8673 BUS 9 = 0

BUS 10 = 0

BUS 5 = 23.4168 ( 19.468 MVA) X/R = 6.538 VOLT= 0.48 KV

CONTRIBUTION :

# Section III— Examples of ac Short-circuit Calculations

BUS 4 = 23.4168

BUS 6 = 15.3258 ( 12.742 MVA) X/R = 0.848 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 4 = 15.3258

BUS 7 = 4.7758 ( 3.97 MVA) X/R = 0.569 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 4 = 4.7757 BUS 17 = 0

BUS 8 = 13.1231 ( 10.91 MVA) X/R = 2.31 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 4 = 12.2719 GEN = 0.9033

BUS 9 = 11.5959 ( 9.641 MVA) X/R = 1.074 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 4 = 11.5959

BUS 10 = 15.5415 ( 12.921 MVA) X/R = 2.429 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 4 = 15.5416

BUS 11 = 43.765 ( 36.386 MVA) X/R = 10.656 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 1 = 40.9225 BUS 12 = 2.2005 BUS 13 = 0.6444

BUS T2 = 36.8119 ( 30.605 MVA) X/R = 5.027 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 11 = 34.615 GEN = 2.2225

BUS 13 = 29.4224 ( 24.461 MVA) X/R = 3.769 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 11 = 28.7796 BUS 14 = 0.649 BUS 15 = 0  
BUS 16 = 0

BUS 14 = 11.8524 ( 9.854 MVA) X/R = 1.337 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 13 = 11.2883 GEN = 0.6665

BUS 15 = 14.49 ( 12.047 MVA) X/R = 1.439 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 13 = 14.49 BUS 18 = 0

BUS 16 = 9.1952 ( 7.645 MVA) X/R = 0.689 VOLT= 0.48 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 13 = 9.1952

BUS 17 = 1.8465 ( 0.665 MVA) X/R = 0.427 VOLT= 0.208 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 7 = 1.8465

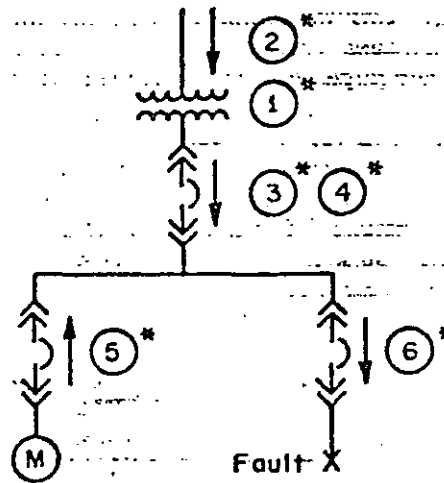
BUS 18 = 7.2033 ( 2.595 MVA) X/R = 1.972 VOLT= 0.208 KV  
CONTRIBUTION :  
BUS 15 = 7.2033

Introduction

The Tables and supplementary information contained in this Appendix provide systems designers with reference for the equipment parameters necessary for a short-circuit study. Parts I, II, and III are concerned with specific equipment short-circuit ratings and impedance data. Part IV illustrates the mathematical techniques involved with short-circuit calculations.

Part I—Estimated Short-circuit Duties

Frequently it is convenient to use tables to estimate the short-circuit



\* Numbers refer to columns in table.

duties on the secondary side of a transformer or at the end of a cable served from a transformer. The estimated short-circuit duty is based on the component impedance values listed with each table.

480 volts, three phase

Transformer Rating 3-phase kVA and Impedance Percent	Maximum Short-circuit Mva Available From Primary System	Normal-load Continuous Current Amp	Short-circuit Current RMS Symmetrical Amp		
			Transformer Alone	100% Motor Load	Combined
1	2	3	4	5	6
300 *4.5%	50		7100		8500
	100		7500		8900
	150	361	7700	1400	9100
	250		7800		9200
	Unlimited		8000		9400
500 *4.5%	50		10900		13300
	100		12000		14400
	150	601	12400	2400	14800
	250		12800		15200
	Unlimited		13100		15500
750 3.75%	50		12500		16100
	100		13900		17500
	150	902	14400	3600	18000
	250		14900		18500
	Unlimited		15300		18900
1000 3.75%	50		15500		20300
	100		17800		22600
	150	1203	18800	4800	23600
	250		19600		24400
	Unlimited		20200		25000
1500 3.75%	50		20600		27800
	100		24900		32100
	150	1804	26700	7200	33900
	250		28400		35600
	Unlimited		29800		37000
2000 3.75%	50		24700		34300
	100		31100		40700
	150	2406	34000	9600	43600
	250		36700		46300
	Unlimited		39100		48700
2500 3.75%	50		28000		40000
	100		36400		48400
	150	3008	40500	12000	52500
	250		44500		56500
	Unlimited		48100		60100
3000 3.75%	50		30700		45100
	100		41200		56600
	150	3607	46500	14400	60900
	250		51900		66300
	Unlimited		56800		71200

\*\*Minimum impedance.

Table 4—Three-phase Secondary Unit Substation Transformers

208 volts, three phase

Transformer Rating 3-phase kVA and Impedance Percent	Maximum Short-circuit Mva Available From Primary System	Normal-load Continuous Current Amp	Short-circuit Current RMS Symmetrical Amp		
			Transformer Alone	50% Motor Load	Combined
1	2	3	4	5	6
300 *4.5%	50		16300		18000
	100		17300		19000
	150	833	17700	1700	19400
	250		18000		19700
	Unlimited		18300		20000
500 *4.5%	50		25300		28000
	100		27200		29600
	150	1388	28700	2800	31500
	250		29500		32300
	Unlimited		30200		33000
750 3.75%	50		28700		32900
	100		32000		36200
	150	2080	33300	4200	37500
	250		34400		38600
	Unlimited		35200		39400
1000 3.75%	50		35800		41400
	100		41100		46700
	150	2780	43200	5600	48800
	250		45100		50700
	Unlimited		46600		52200
3000 3.75%	50		47600		55700
	100		57500		65800
	150	4160	61700	8300	70000
	250		65600		73900
	Unlimited		68800		77100

\*\*Minimum impedance.

240 volts, three phase

Transformer Rating 3-phase kVA and Impedance Percent	Maximum Short-circuit Mva Available From Primary System	Normal-load Continuous Current Amp	Short-circuit Current RMS Symmetrical Amp		
			Transformer Alone	100% Motor Load	Combined
1	2	3	4	5	6
300 *4.5%	50		14200		17100
	100		15000		17900
	150	722	15400	2900	18300
	250		15600		18500
	Unlimited		15800		18700
500 *4.5%	50		21900		26700
	100		24200		28800
	150	1203	24900	4800	29700
	250		25600		30400
	Unlimited		26100		30900
750 3.75%	50		24900		32100
	100		27800		35000
	150	1804	28500	3200	36100
	250		29800		37000
	Unlimited		30800		37800
1000 3.75%	50		31100		40700
	100		35700		45300
	150	2406	37500	9600	48700
	250		39100		50100
	Unlimited		40500		50600
1500 3.75%	50		41300		55700
	100		49800		64200
	150	3609	53500	14400	67900
	250		56900		71300
	Unlimited		59700		74100

Table 4 (Cont'd)

600 volts, three phase

Transformer Rating 3-phase kVA and Impedance Percent	Maximum Short-circuit Mva Available From Primary System	Normal load Continuous Current Amp	Short-circuit Current RMS Symmetrical Amp		
			Transformer Alone	100% Motor Load	Combined
1	2	3	4	5	6
300 4.5%	50	289	5700	1200	6900
	100		6000		7200
	150		6100		7300
	250		6200		7900
	500		6300		7500
750	6400	7600	7600		
Unlimited	6400	7600	7600		
500 4.5%	50	481	8700	1900	10600
	100		9600		11500
	150		10000		11900
	250		10200		12100
	500		10500		12400
750	10500	12400	12400		
Unlimited	10700	12600	12600		
750 5.75%	50	722	9900	2900	12800
	100		11100		14000
	150		11500		14400
	250		11900		14800
	500		12200		15100
750	12300	15200	15200		
Unlimited	12500	15400	15400		
1000 5.75%	50	962	12500	3800	16300
	100		14300		18100
	150		15000		18800
	250		15700		19500
	500		16200		20000
750	16400	20200	20200		
Unlimited	16800	20600	20600		
1500 5.75%	50	1444	16500	5800	22300
	100		19900		25700
	150		21400		27200
	250		22700		28500
	500		23800		29600
750	24200	30000	30000		
Unlimited	25100	30900	30900		
2000 5.75%	50	1924	19700	7700	27400
	100		24800		32500
	150		27200		34900
	250		28400		37100
	500		31200		38900
750	32000	39700	39700		
Unlimited	33500	41200	41200		
2500 5.75%	50	2406	22400	9600	32000
	100		25200		38600
	150		26400		40200
	250		35700		45300
	500		38500		48100
750	39600	49200	49200		
Unlimited	41900	51500	51500		
3000 5.75%	50	2786	23700	11100	34800
	100		31800		42900
	150		35900		47000
	250		40100		51200
	500		43700		55000
750	45300	56400	56400		
Unlimited	48500	59600	59600		

Application Tables are based on the following:

1. A three-phase bolted fault at the low voltage terminals of the sub-station;
2. Transformer impedances listed in table;
3. Only source of power to the secondary is the substation transformer;
4. Total connected motor kVA does not exceed 50 percent of transformer rating at 208Y 120 volts and 100 percent of transformer rating at 240, 480, and 600 volts.
5. The motor contribution is taken as 2.0 times the normal current of the transformer at 208Y 120 volts and 4.0 times normal at 240, 480, and 600 volts;
6. Tabulated values of short circuit current are in terms of RMS symmetrical amperes per NEMA Standard SG-3.

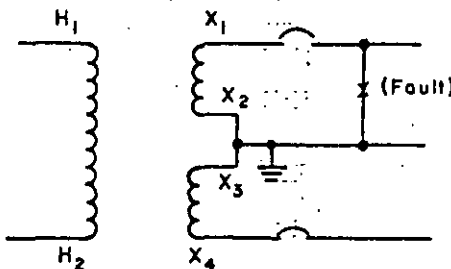
secondary winding (terminals  $x_1$  to  $x_4$ ). Consequently breaker selections for three-wire service must be based on the faulted half-winding value of short-circuit current.

Basis of Table 5 Values:

1. A half-winding solid fault exists at the transformer low-voltage terminals.
2. The transformer primary was assumed to have the more common line-to-line connected to the three-phase system.
3. The generally permissible assumption of equal positive and negative-sequence reactances in the three-phase system was made.
4. Because of assumptions 2 and 3 above, the supply stiffness is defined as a single-phase short-circuit mva just one-half the three-phase short-circuit mva.
5. The transformer half-winding reactance was taken from typical transformer designs at 1.2 times the full-winding reactance, while the half-winding resistance was taken at 1.44 times the full-winding resistance, and both values were on the full-kva base.
6. It was assumed that the 120 240-volt unit substation would supply lighting loads only, i.e., no motor contribution.
7. It was assumed that the only source of power for the secondary bus was one transformer of the rating indicated.

Table 5—Explanation

A line-to-neutral fault involving one of the secondary half-windings (terminals  $x_1$  to  $x_2$  or  $x_3$  to  $x_4$  in the illustration below) of these single-phase three-wire transformers allows approximately twice as much short-circuit current to flow as does a line-to-line fault involving the full sec-



**Table 5—Estimated Secondary Short-circuit Currents For Single-phase, Three-wire Secondary Distribution Transformers (7200/12,470Y—120/240-VOLT TRANSFORMER)**

MAXIMUM SYMMETRICAL SHORT-CIRCUIT CURRENT FOR STANDARD 120/240-VOLT, 3 WIRE, SINGLE-PHASE DISTRIBUTION TRANSFORMER (LINE-TO-NEUTRAL FAULT AT TRANSFORMER TERMINALS)

Available Primary 3 phase Short-circuit MVA	Transformer kVA Rating, Single Phase					
	25	37.5	50	75	100	167
	Normal-load Continuous Current—Amperes at 240 Volts					
	104	156	208	313	417	696
Short-circuit Symmetrical Current at 120 Volts						
25	7,400	13,300	16,500	22,100	29,800	42,400
50	7,800	14,000	17,600	24,300	34,000	51,900
100	7,950	14,400	18,200	25,600	36,500	58,100
150	8,000	14,500	18,400	26,100	37,400	60,500
250	8,000	14,600	18,600	26,400	38,200	62,500
500	8,100	14,700	18,700	26,700	38,700	64,000
750	8,100	14,700	18,800	26,800	38,900	64,500
Unlimited	8,100	14,800	18,850	27,000	39,300	65,600

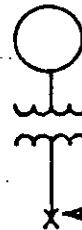
TRANSFORMER FULL-WINDING IMPEDANCE ON RATED kVA, (7200/12,470Y—120/240-VOLT TRANSFORMER)

% IR	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
% IX	1.6	1.3	1.4	1.6	1.4	1.4

**Table 6—Estimated Secondary Short-circuit Currents for GE Three-phase Padmount Distribution Transformers Single-voltage Primary.**

LINE-TO-LINE PRIMARY VOLTAGE 25 kV WYE—18 kV DELTA

Available Primary 3-phase Short-circuit MVA	Secondary Voltage Rating	Transformer kVA Rating					
		75	112.5	150	225	300	500
		Transformer Impedance—%					
		(1) 480Y/277V %IR	1.29	1.11	1.11	1.01	0.89
%IX	0.94	1.16	1.55	1.73	1.96	1.92	
(2) 208Y/120V %IR	1.27	1.10	1.08	1.05	1.05	0.89	
%IX	0.90	1.16	1.63	1.70	1.82	1.80	
Maximum Short-circuit Symmetrical rms Amperes							
100	(1)	5,500	8,050	8,900	12,300	14,900	23,500
	(2)	13,000	18,575	20,000	28,500	35,200	56,300
250	(1)	5,600	8,300	9,250	13,000	16,000	26,400
	(2)	13,225	19,150	20,800	30,100	37,800	63,400
500	(1)	5,625	8,400	9,375	13,300	16,400	27,500
	(2)	13,300	19,350	21,000	30,700	38,700	66,200



Avail. primary 3-phase short-circuit = 250 MVA  
13.2 kV-208y/120V  
225 kVA % Z = 2.2

Secondary 3φ bolted fault

Solve for the Secondary Fault using the per-unit method.

Select 225 kVA as the study base

$$X_{\text{Utility Source}} = \frac{225 \text{ kVA}}{250,000 \text{ kVA}} = 0.0009 \text{ pu}$$

$$R_{\text{Trans}} = (.017) \left( \frac{225 \text{ kVA}}{225 \text{ kVA}} \right) = 0.017 \text{ pu}$$

$$X = X_{\text{trans}} + X_{\text{utility}} = 0.0179$$

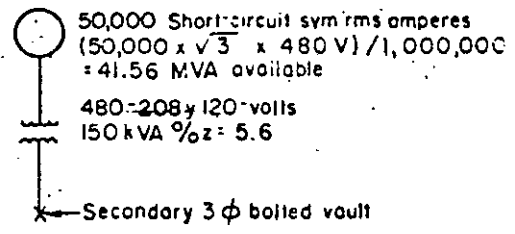
$$R_{\text{trans}} = (0.0105) \left( \frac{225 \text{ kVA}}{225 \text{ kVA}} \right) = 0.0105 \text{ pu}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(0.0105)^2 + (0.0179)^2} = 0.0208$$

$$I_{sc} = \frac{kVA_b}{\sqrt{3} (KV) (Z \text{ pu})} = \frac{225}{\sqrt{3} (.208) (.0208)} = 30.095 \text{ 3}\phi \text{ Short-circuit Symmetrical rms Amperes at Transformer Terminals}$$

**Table 7—Estimated Secondary Short-circuit Currents For GE Type "QHT" Dry-type 3-phase Transformers**  
 PRIMARY RATING 600 VOLTS AND BELOW, SECONDARY RATING 480Y/277V and 208/120V

Available Short-circuit Symmetrical rms Amperes	Transformer kVA Rating											
	6	9	15	30	45	75	112.5	150	225	300	500	
	Transformer Impedance											
% IR	2.72	2.31	2.1	3.8	2.52	2.27	2.43	2.35	1.15	1.8	1.6	
% IX	1.72	1.16	1.80	1.37	1.73	1.91	3.87	5.0	5.5	4.5	5.9	
Short-circuit Symmetrical rms Amperes												
Secondary Voltage	Short-circuit Symmetrical rms Amperes											
	480	225	415	640	885	1,700	2,810	2,690	2,925	4,050	5,800	7,100
25,000	208	515	965	1,475	2,035	3,925	6,500	6,200	6,750	9,350	13,400	16,400
50,000	480	225	420	645	890	1,740	2,925	2,820	3,265	4,400	6,550	8,240
	208	520	965	1,465	2,035	4,005	6,750	6,500	7,125	10,150	15,100	18,740
200,000	480	225	420	650	845	1,760	3,010	2,925	4,700	7,200	9,400	
	208	520	970	1,495	2,060	4,065	7,010	6,750	7,450	10,840	16,600	21,700



Solve for the Secondary Fault using the per-unit method.  
 Select 150 kVA as the study base.  
 $X_{available} = \frac{150 \text{ kVA}}{41,570 \text{ kVA}} = 0.0036 \text{ pu}$   
 $X_{trans} = (.050) \frac{150 \text{ kVA}}{150 \text{ kVA}} = 0.050 \text{ pu}$   
 $X = X_{avail.} + trans = 0.0036 + .050 = .0536 \text{ pu}$

$$R_{trans} = \left( .0235 \right) \left( \frac{150 \text{ kVA}}{150 \text{ kVA}} \right) = 0.0235 \text{ pu}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$= \sqrt{(0.0235)^2 + (0.0536)^2}$$

$$= 0.0585$$

$$I_{sc} = \frac{kVA_b}{\sqrt{3} (kV) (Z)} = \frac{150}{\sqrt{3} (.208) (.0585)}$$

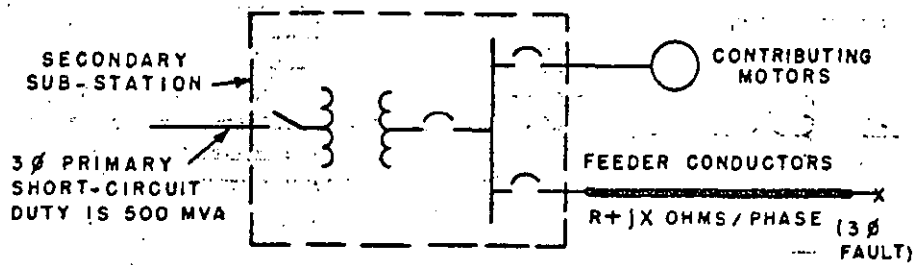
$I_{sc} = 7,117 \text{ 3}\phi \text{ Short-circuit Sym. rms Amperes at transformer terminals}$

**Estimated Short-circuit Current at the End of Low-voltage Feeder (See Figs. 25-1—25-30)**

Power-system maximum estimated short-circuit currents, as functions of distance along feeder conductors fed from standard three-phase radial secondary unit substations, can be read directly in rms symmetrical amperes from a series of curves, Fig. 25-1 through 25-30. The one-line diagram shows the typical radial circuit investigated.

The conditions on which the curves are based were as follows:

1. The fault was a bolted three-phase short circuit.
2. The primary three-phase short-circuit duty was 500 MVA (60 cycles) for all curves. A typical supply-system X R at the low-voltage bus was used in calculating the curves for each case.
3. Motor contributions through the bus to the point of short circuit were included in the



Typical circuit investigated to show effect on short-circuit duty as point of fault is moved away from the low-voltage bus along the feeder conductors

calculations on the basis of 100 percent contribution for the 240-, 480-, and 600-volt systems and 50 percent contribution for the 208-volt systems.  
 4. The feeder-conductor impedance values used in the calculations are indicated for various conductor sizes.

These curves can also be used to select feeder conductor sizes and lengths needed to reduce short-circuit duties to desired smaller values. Note that conductors thus selected must be further checked to assure adequate load and short-circuit capabilities and acceptable voltage drop.



Feeder Impedance Values Used in Investigation

Feeder Conductor Size Phase	Resistance (R) Ohms Phase 1000 Ft	60-cycle Inductive Reactance (X) Ohms Phase 1000 Ft
4	.321	.0483
#1/0	.128	.0414
250 MCM	.055	.0379
2-500 MCM	.0147	.0174
4-750 MCM	.0054	.0081

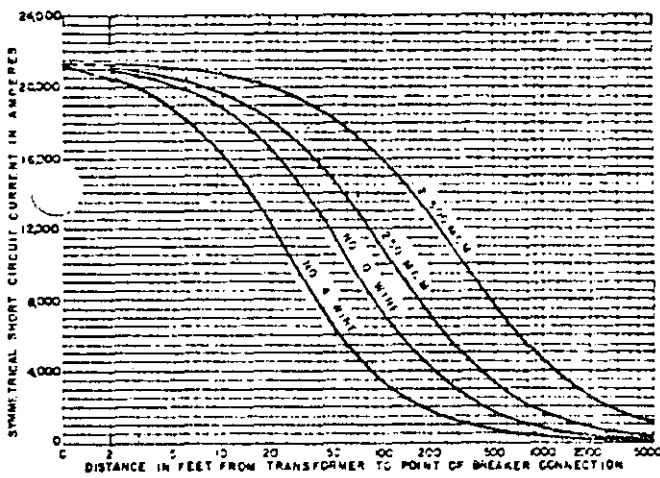


Fig. 1. Transf: 150 kVA, 208 V, 2.0% Z

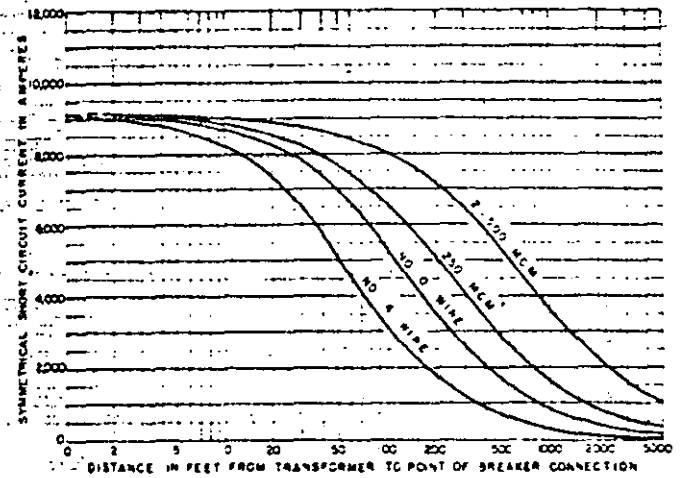


Fig. 25-2. Transf: 150 kVA, 208 V, 4.5% Z

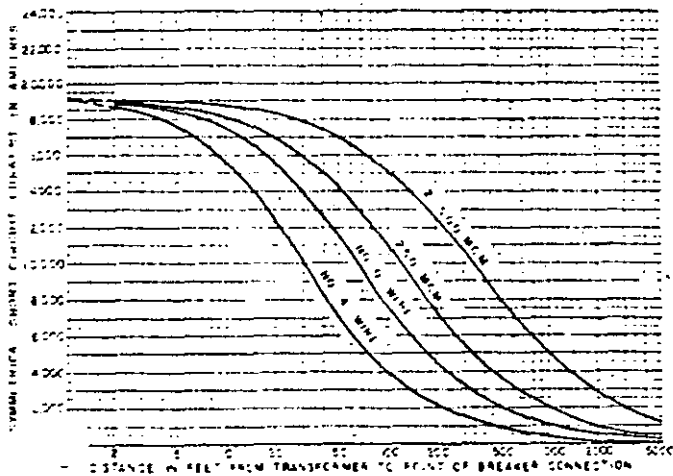


Fig. 25-3. Transf: 150 kVA, 240 V, 2.0% Z

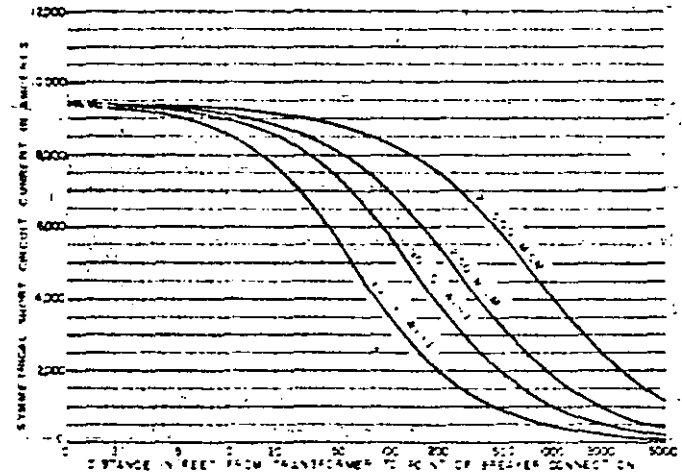


Fig. 25-4. Transf: 150 kVA, 240 V, 4.5% Z

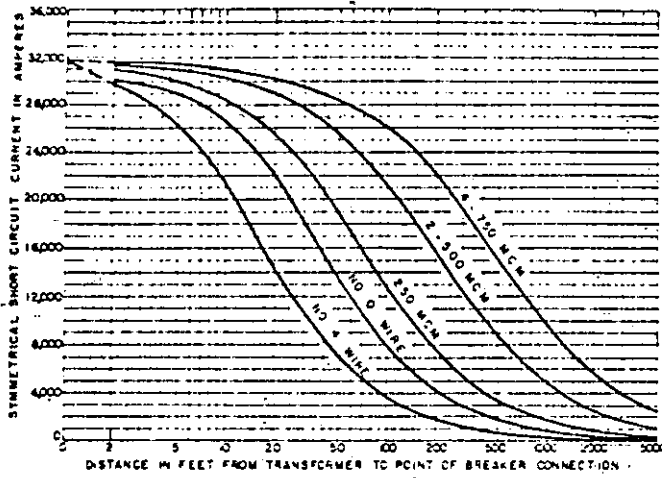


Fig. 25-5. Transf: 225 kVA, 208 V, 2.0% Z

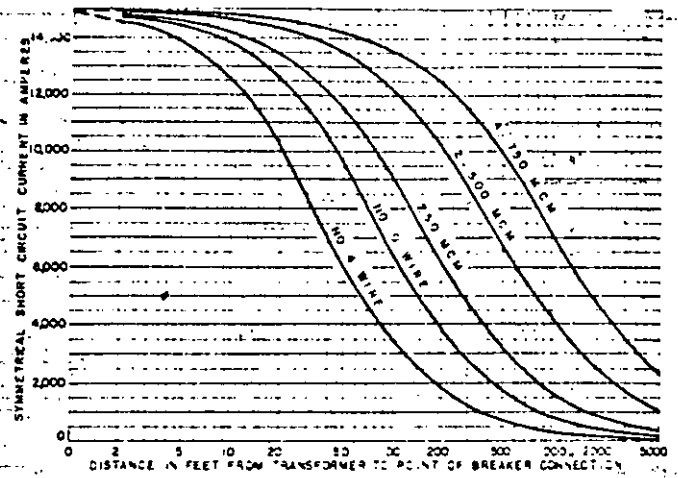


Fig. 25-6. Transf: 225 kVA, 208 V, 4.5% Z

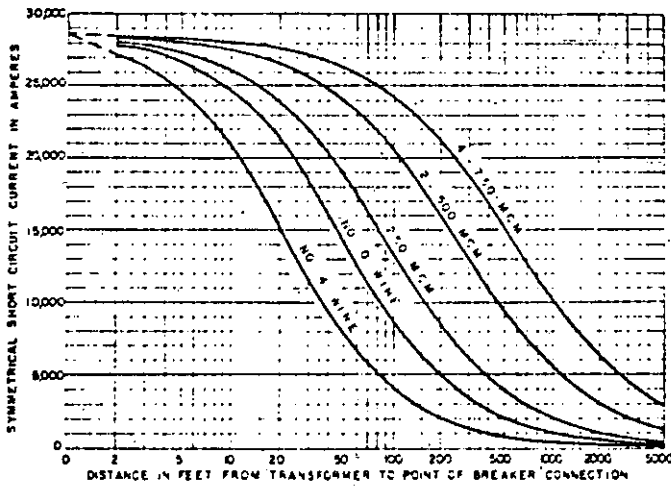


Fig. 25-7. Transf: 225 kVA, 240 V, 2.0% Z

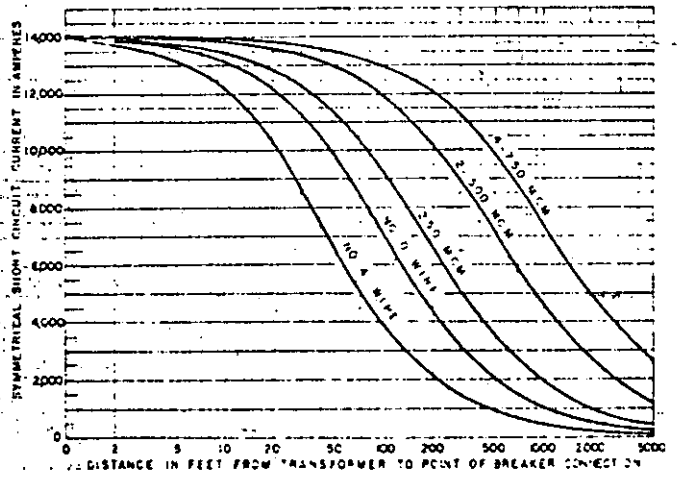


Fig. 25-8. Transf: 225 kVA, 240 V, 4.5% Z

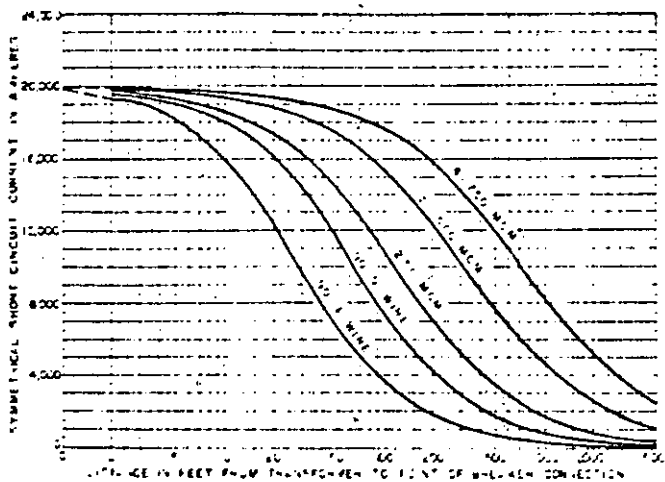


Fig. 25-9. Transf: 300 kVA, 208 V, 4.5% Z

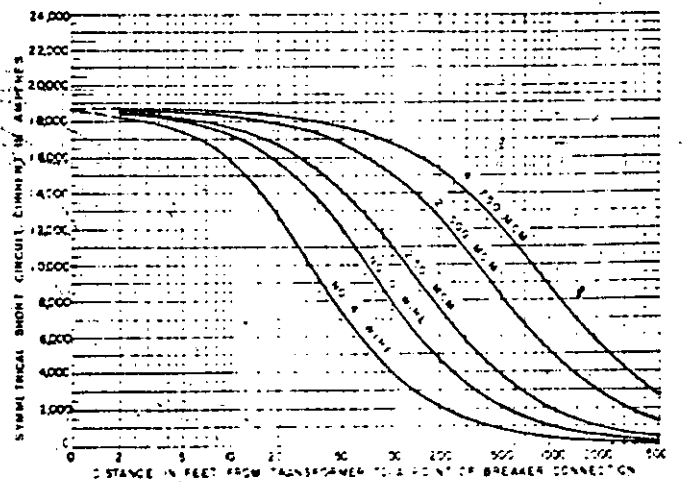


Fig. 25-10. Transf: 300 kVA, 240 V, 4.5% Z

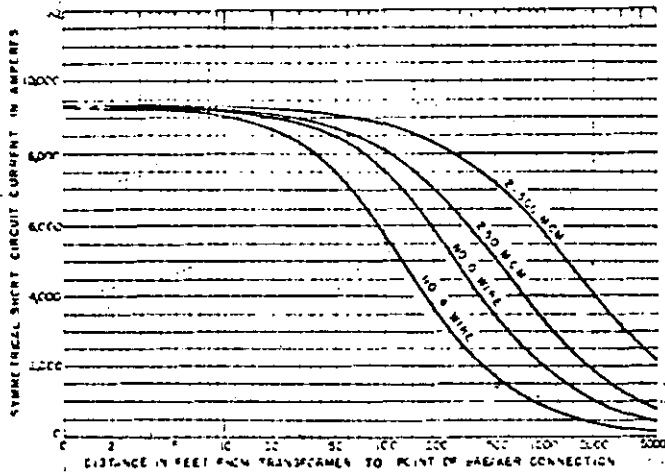


Fig. 25-11. Transf: 300 kVA, 480 V, 4.5% Z

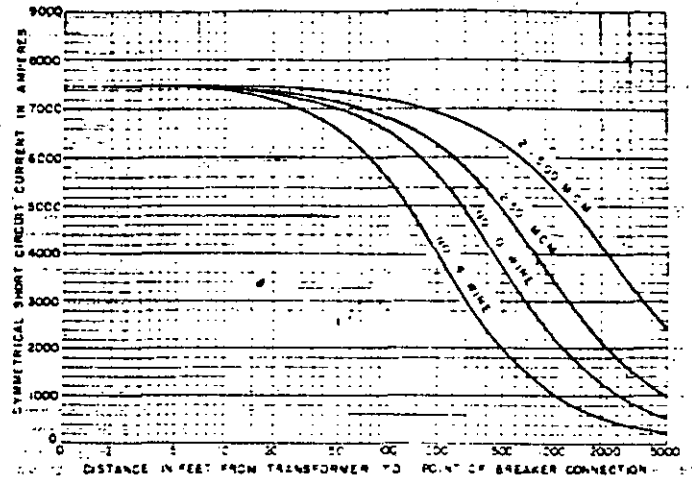


Fig. 25-12. Transf: 300 kVA, 600 V, 4.5% Z

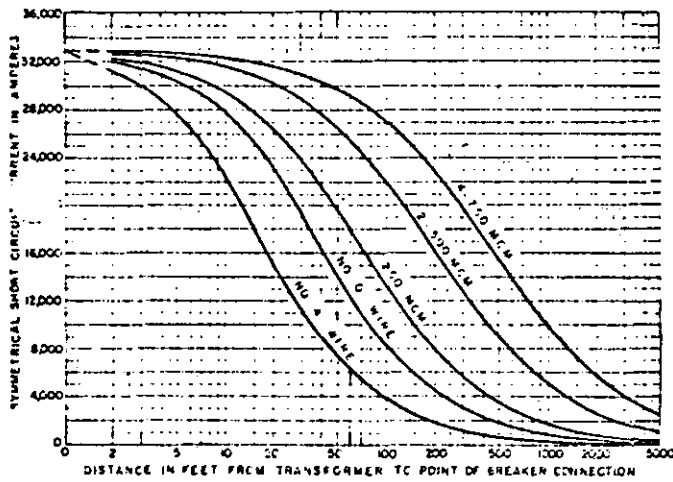


Fig. 25-13. Transf: 500 kVA, 208 V, 4.5% Z

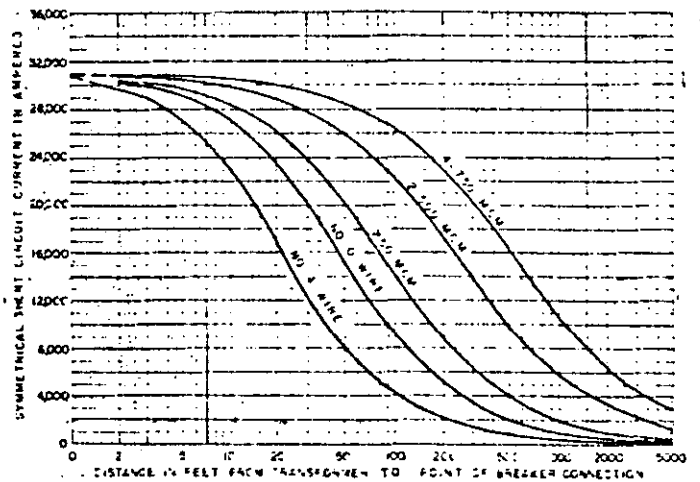


Fig. 25-14. Transf: 500 kVA, 240 V, 4.5% Z

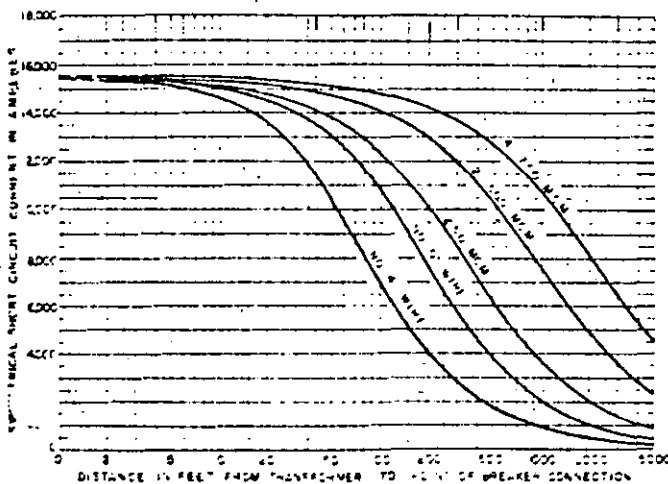


Fig. 25-15. Transf: 500 kVA, 480 V, 4.5% Z

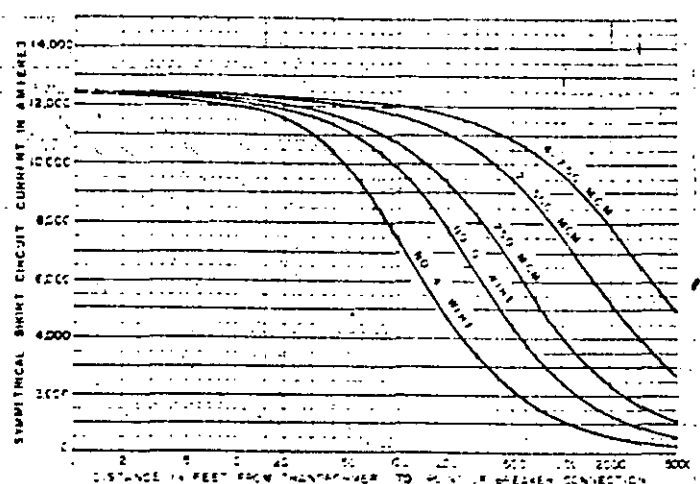


Fig. 25-16. Transf: 500 kVA, 600 V, 4.5% Z

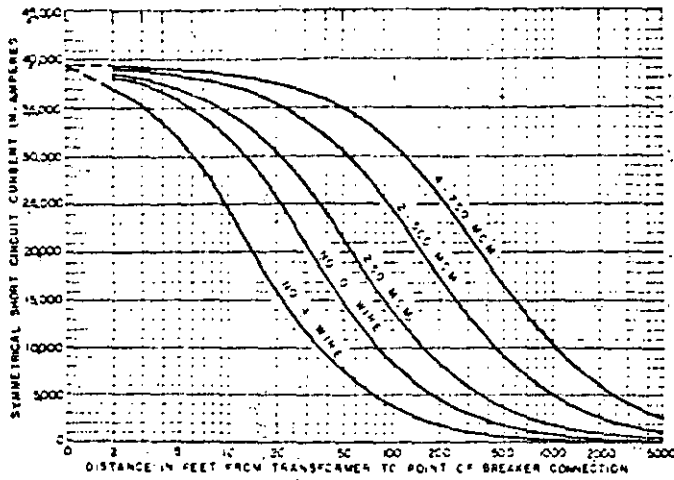


Fig. 25-17. Transf: 750 kVA, 208 V, 5.75% Z

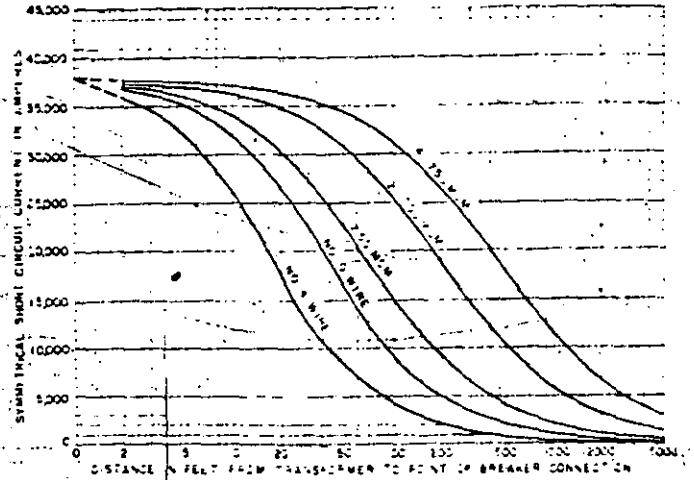


Fig. 25-18. Transf: 750 kVA, 240 V, 5.75% Z

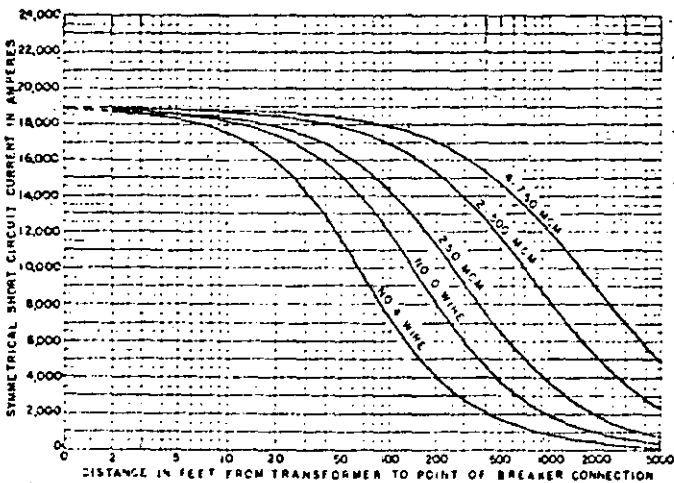


Fig. 25-19. Transf: 750 kVA, 480 V, 5.75% Z

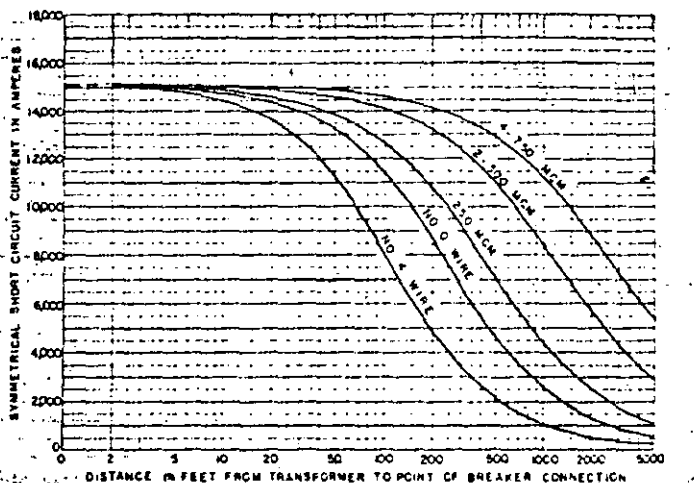


Fig. 25-20. Transf: 750 kVA, 600 V, 5.75% Z

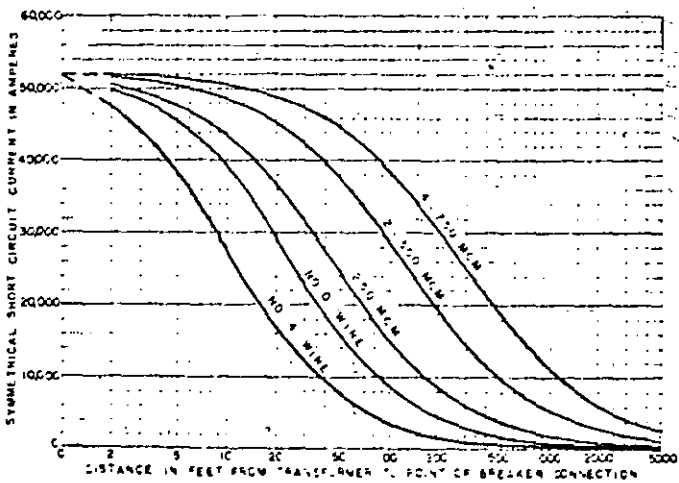


Fig. 25-21. Transf: 1000 kVA, 208 V, 5.75% Z

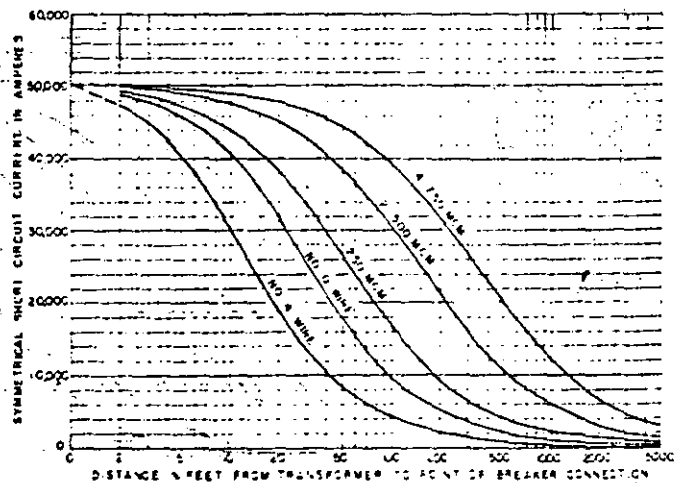


Fig. 25-22. Transf: 1000 kVA, 240 V, 5.75% Z

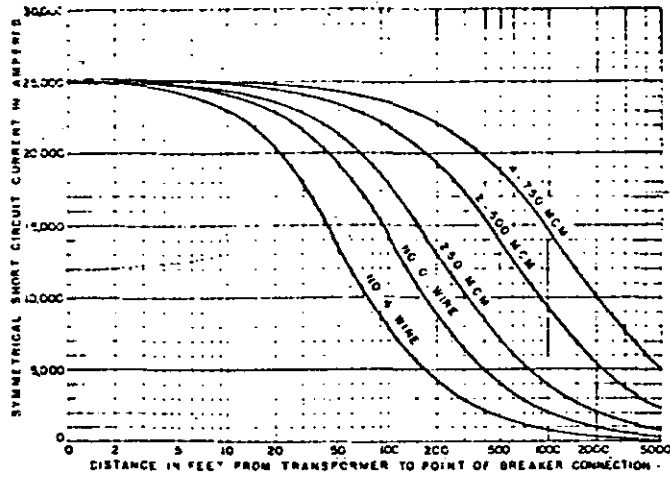


Fig. 25-23. Transf: 1000 kVA, 480 V, 5.75% Z

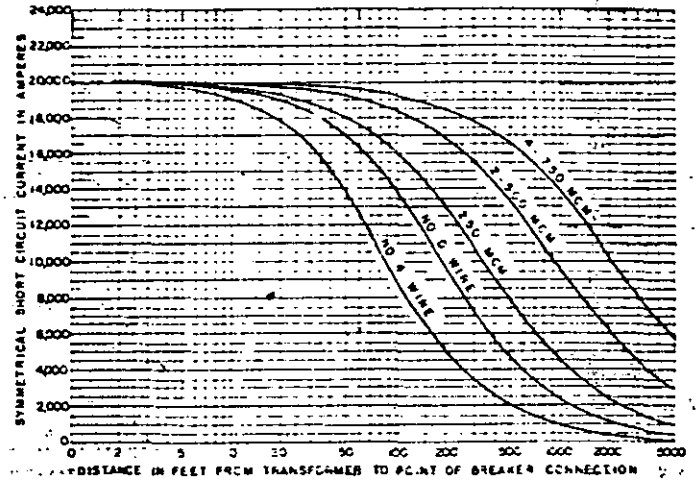
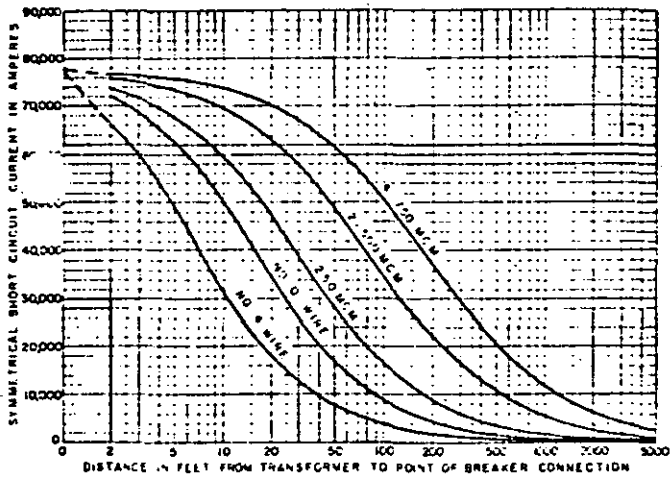


Fig. 25-24. Transf: 1000 kVA, 600 V, 5.75% Z



25-25. Transf: 1500 kVA, 208 V, 5.75% Z

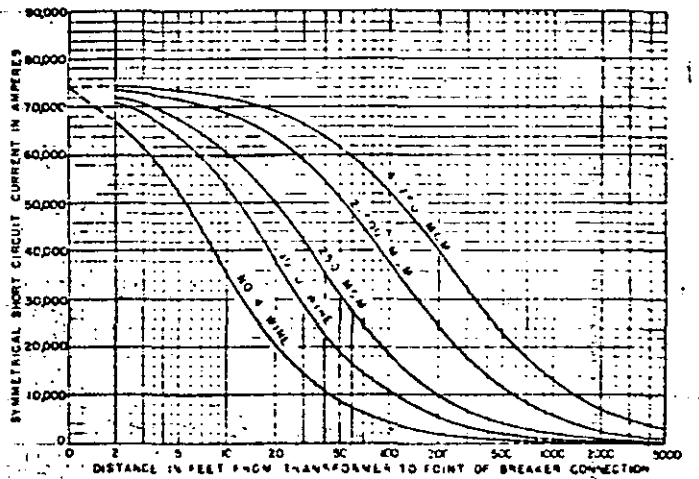


Fig. 25-26. Transf: 1500 kVA, 240 V, 5.75% Z

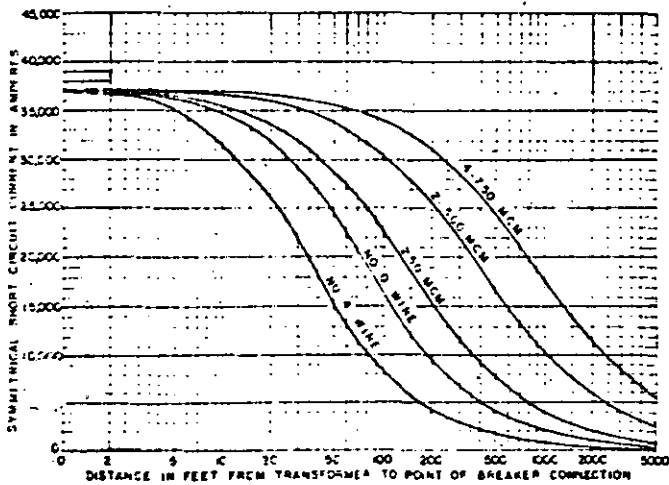


Fig. 25-27. Transf: 1500 kVA, 480 V, 5.75% Z

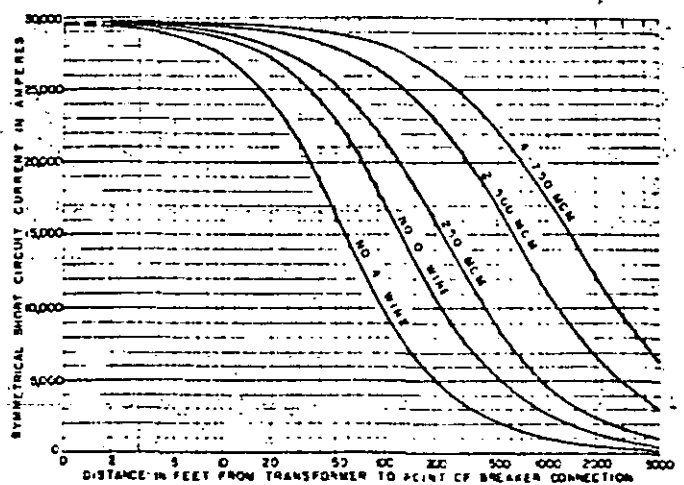


Fig. 25-28. Transf: 1500 kVA, 600 V, 5.75% Z

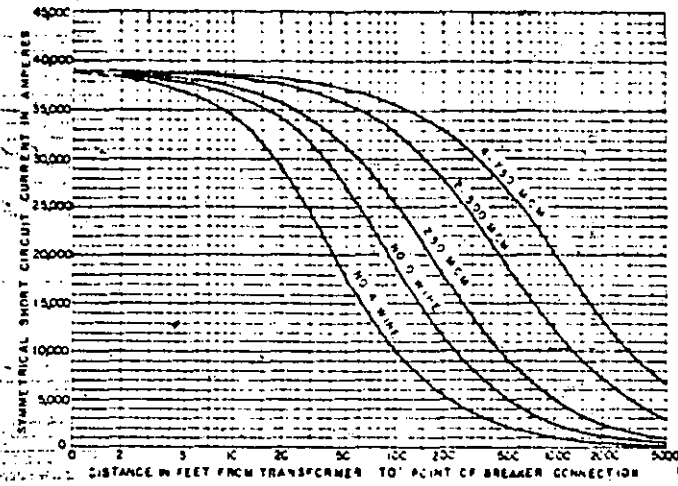
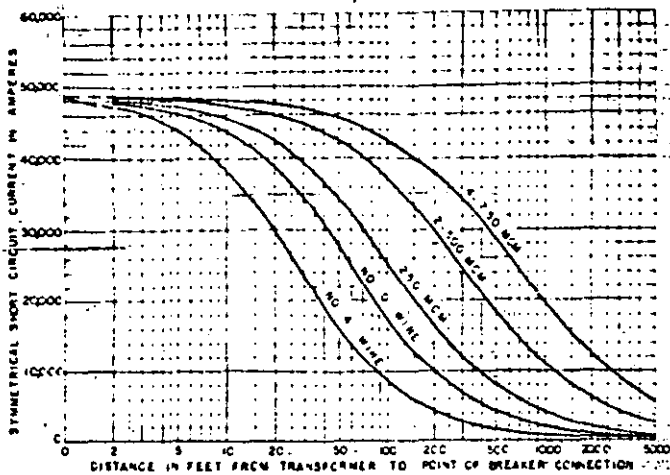


Fig. 25-29. Transf: 2000 kVA, 480 V, 5.75% Z. Fig. 25-30. Transf: 2000 kVA, 600 V, 5.75% Z.

## Part II— Impedance Data

The approximate impedance data listed in these tables are representative of standard equipment in current production. The impedance values of this equipment change from time to time so that the up-to-date validity of the impedance values should be verified.

Table 8—Primary Substation Transformers (501–5000 kVA 1 $\phi$ ; 501–10,000 kVA 3 $\phi$ )

High-voltage Winding Bil kV	Low-voltage Winding Bil kV	Percent Impedance	
		Ungrounded Neutral	Grounded Neutral
110	45	5.75	.....
	60-110	5.5	.....
150	45	5.75	.....
	60-110	5.5	.....
200	45	6.25	.....
	60-110	6.0	.....
250	150	6.5	.....
	45	6.75	.....
350	60-150	6.5	.....
	200	7.0	.....
450	45	7.25	.....
	60-200	7.0	.....
550	250	7.5	.....
	60-200	7.5	7.0
650	250	8.0	7.5
	350	8.5	8.0
750	60-200	8.0	7.5
	250-350	9.0	8.25
	450	10.0	9.25
	60-200	8.5	8.0
	250-350	9.5	8.5
	450-550	10.5	9.5
	60-250	9.0	8.5
	350-450	10.0	9.5
	550-650	11.0	10.25

For load tap changing (LTC) transformers, add 0.5 to values listed.

Table 10—Network Transformers—Three Phase (Low Voltages 216Y/125 or 480Y/277 Volts)

STANDARD IMPEDANCES	
kVA	Percent Impedance
1000 kVA and Below	5.0
Above 1000 kVA	7.0

Table 11—Distribution Transformers—Single-phase

kVA	Low Voltage	%IR	%IX	%IZ	kVA	Low Voltage	%IR	%IX	%IZ		
<b>HIGH VOLTAGE 2400/4160Y</b>					<b>HIGH VOLTAGE 7200/12470Y OR 12470GRDY/7200</b>						
5	120/240	2.0	1.5	2.5	5	120/240	2.2	2.2	3.1		
10		1.2	0.7	1.4	10		1.4	0.8	1.6		
15		1.2	1.1	1.6	15		1.3	1.2	1.8		
25		1.1	1.4	1.8	25		1.2	1.6	2.0		
37½		0.9	1.2	1.5	37½		1.0	1.3	1.6		
50		0.9	1.3	1.6	50		1.0	1.4	1.7		
75		0.9	1.3	1.6	75		0.9	1.6	1.8		
100		0.9	1.6	1.8	100		0.9	1.4	1.7		
167		0.9	1.6	1.8	167		0.9	1.4	1.7		
10		240/480	1.1	1.0	1.5		10	240/480	1.4	0.8	1.6
15	1.1		1.0	1.5	15	1.3	0.9		1.6		
25	1.1		1.5	1.9	25	1.2	1.6		2.0		
37½	0.9		1.3	1.6	37½	1.1	1.3		1.7		
50	0.9		1.3	1.6	50	1.1	1.2		1.6		
75	0.9		1.4	1.7	75	0.9	1.6		1.8		
100	0.9		1.4	1.7	100	0.9	1.4		1.7		
167	0.9		1.3	1.6	167	0.9	1.3		1.6		
50	2400 or 4800		1.0	1.1	1.5	50	2400 or 4800		1.0	1.1	1.5
100			0.9	1.1	1.4	100			0.9	1.1	1.4
167		0.8	1.4	1.6	167	0.8		1.4	1.6		
<b>HIGH VOLTAGE 4160/7200Y</b>					<b>HIGH VOLTAGE 7620/13200Y OR 13200GRDY/7620</b>						
5	120/240	2.1	1.5	2.6	5	120/240	2.2	2.2	3.1		
10		1.2	0.7	1.4	10		1.4	0.8	1.6		
15		1.2	1.1	1.6	15		1.3	1.2	1.8		
25		1.1	1.4	1.8	25		1.2	1.6	2.0		
37½		0.9	1.2	1.5	37½		1.0	1.3	1.6		
50		0.9	1.3	1.6	50		1.0	1.5	1.8		
75		0.9	1.3	1.6	75		0.9	1.6	1.8		
100		0.9	1.7	1.9	100		0.9	1.6	1.8		
167		0.9	1.7	1.9	167		0.9	1.7	1.9		
10		240/480	1.2	0.9	1.5		10	240/480	1.4	0.9	1.6
15	1.2		1.1	1.6	15	1.3	1.0		1.6		
25	1.1		1.4	1.8	25	1.2	1.4		1.9		
37½	1.0		1.1	1.5	37½	1.1	1.5		1.9		
50	1.0		1.3	1.6	50	1.1	1.7		2.0		
75	0.9		1.3	1.6	75	0.9	1.5		1.8		
100	0.9		1.3	1.6	100	0.9	1.5		1.7		
167	0.9		1.3	1.6	167	0.9	1.5		1.8		
<b>HIGH VOLTAGE 4800/8320Y</b>					<b>HIGH VOLTAGE 14400/24940GRDY OR 24940GRDY/14400</b>						
5	120/240		2.1	1.5	2.6	5	120/240		2.2	2.5	3.3
10		1.2	0.9	1.5	10	1.6		1.0	1.9		
15		1.2	0.9	1.5	15	1.4		1.1	1.8		
25		1.1	1.4	1.8	25	1.3		1.6	2.2		
37½		0.9	1.2	1.5	37½	1.1		1.8	2.1		
50		0.9	1.3	1.6	50	1.1		1.8	2.1		
75		0.9	1.3	1.6	75	1.0		2.0	2.2		
100		0.9	1.4	1.7	100	1.0		2.0	2.2		
167		0.9	1.4	1.8	167	1.0		2.0	2.2		
10		240/480	1.2	0.7	1.4	10		240/480	1.6	1.0	1.9
15	1.2		0.9	1.5	15	1.4	1.3		1.9		
25	1.1		1.5	1.9	25	1.3	1.9		2.3		
37½	1.0		1.1	1.5	37½	1.1	1.8		2.1		
50	1.0		1.1	1.5	50	1.1	1.8		2.1		
75	0.9		1.4	1.7	75	1.0	2.0		2.2		
100	0.9		1.3	1.6	100	1.0	1.8		2.1		
167	0.9		1.4	1.7	167	1.0	1.8		2.1		
50	2400 or 4800		1.1	1.2	1.4	50	2400 or 4800		1.1	1.2	1.4
100			0.9	1.4	1.7	100			1.0	1.8	2.1

Table 12—Distribution Transformers—Three-phase Padmount—Single-voltage Primary—Maximum Line-to-Line Primary Voltage—25 kV WYE—18 kV Delta

kVA	LOW VOLTAGE					
	208Y 120			480Y 277		
	%IZ*	%IR	%IX	%IZ*	%IR	%IX
75	1.55	1.27	0.89	1.60	1.29	0.94
75A	2.68	1.34	2.32	2.87	1.37	2.52
112.5	1.60	1.10	1.16	1.60	1.11	1.16
112.5A	3.54	1.10	3.36	3.56	1.11	3.38
	1.95	1.08	1.63	1.93	1.11	1.55
	4.63	1.08	4.50	4.62	1.11	4.48
225	2.00	1.05	1.70	2.00	1.01	1.73
225A	4.66	1.09	4.53	4.74	1.06	4.62
300	2.05	0.95	1.82	2.15	0.88	1.96

kVA	LOW VOLTAGE					
	208Y 120			480Y 277		
	%IZ*	%IR	%IX	%IZ*	%IR	%IX
300A	5.23	0.95	5.14	4.93	0.88	4.85
500	2.00	0.88	1.80	2.10	0.85	1.92
500A	5.56	0.89	5.49	5.33	0.85	5.26
750	5.75	0.93	5.68	5.75	0.68	5.68
1000	5.75	0.92	5.68	5.75	0.85	5.69
1500				5.75	0.72	5.70
2000				5.75	0.68	5.71
2500				5.75	0.61	5.72

\*%IZ typical only through 500 kVA.

A Optional impedance values—not standard.

3-phase pads COMPAD III maximum coil voltage of 18,000 volts.

**Table 13—Transformers for Integral Distribution Centers and Secondary Unit Substations**

kVA	Dry-type						Liquid-filled	
	480V		2400-4800V		69kV-15kV		2400-15,000V	
	%Z	X/R	%Z	X/R	%Z	X/R	Percent Impedance %Z	X/R
75	3.0	0.83	6.2	2.15				
112.5	4.6	1.63	4.5	1.77	6.1	1.93		
150	5.5	2.08	4.2	1.95	5.3	2.33		
225	5.9	4.58	4.6	1.75	6.1	2.48	2.0†	2.5
300	4.9	2.50	5.2	3.57	6.0	3.22	4.5†	3.0
500	6.1	3.69	5.3	4.33	6.4	4.43	4.5†	3.5
			2400-15,000V					
			%Z	X/R				
750	5.2	2.88	5.75	5.0			5.75	4.0
1000	4.7	3.46	5.75	5.7			5.75	4.75
1500			5.75	6.5			5.75	5.5
2000			5.75	7.2			5.75	5.9
2500			5.75	7.5			5.79	6.0

\* Typical ratios based on several manufacturers' data.  
 † Minimum impedance.

**Table 14—Dry-type transformers—Type QHT, % Impedance, Reactance and Resistance (Temp. Base 170°C)†**

kVA	Single-phase			Three-phase			
	%IX	%IR	%IZ	kVA	%IX	%IR	%IZ
5	1.68	2.94	3.4	6	1.72	2.72	3.2
7.5	1.84	2.42	3.0	9	1.16	2.31	2.6
10	1.92	2.04	2.75	15	1.82	2.1	2.8
15	2.02	1.60	2.6	30	1.37	3.8	4.0
25	2.3	1.4	2.7	45	1.73	2.52	3.1
37.5	2.7	3.6	4.5	75	1.91	2.27	3.0
50	2.8	3.1	4.2	112½	3.87	2.43	4.6
75	3.7	2.48	4.45	150	5.0	2.35	5.5
100	3.55	2.12	4.14	225	5.5	1.15	5.9
167	3.25	1.60	3.63	300	4.5	1.8	4.9
				500	5.9	1.6	6.1

† Typical values based on data from several manufacturers.

**Table 15—Standard Current Limiting Reactors**

Amperes	600 Volt Insulation Class		5 kV Insulation Class		15 kV Insulation Class	
	Indoor Service 3ø		Single-phase and Three-phase		Single-phase and Three-phase	
	Fault Current 1 second Duration	OHMS per Phase	Continuous Current Amperes	OHMS per Phase	Continuous Current Amperes	OHMS per Phase
1000	23,000	0.015	200	0.25	30	0.50
1000	34,000	.010		.40		.63
800	12,000	.0285	300	.10		1.0
800	34,000	.010		.16		1.6
				.25		2.5
600	15,000	.0285			400	.40
600	15,000	.0230	400	.10		.50
600	20,000	.0170		.16		.80
600	25,000	.0130		.25		.63
600	25,000	.010				.80
600	25,000	.0046	600	.063		1.0
				.10		1.6
400	8,000	.0485		.16		
400	15,000	.0285		.25	600	.25
400	15,000	.0230				.40
400	20,000	.0170	1200	.04		.50
400	25,000	.0130		.063		.63
400	25,000	.010		.10		.80
400	25,000	.0046		.16		1.0
225	12,500	.0285	2000	.04	1200	.16
				.063		.25
				.10		.40
						.50
						.63
					2000	.10
						.16
						.25
						.40

△ Maximum allowable sustained symmetrical rms amperes

**Table 16—Approximate Machine Reactances**  
 LARGE INDUCTION MOTORS

The short-circuit reactance of an induction motor (or induction generator) in percent on its own kVA base may be taken as percent  $X''d =$

$$\frac{100}{\dots}$$

\*times normal stalled rotor current

\*with rated voltage and frequency applied.

The reactance of such a machine will generally be approximately (in percent on own kVA base).

X''d	
Range	Most Common
15-25	25

**Table 17—Grouped Small Motors**

In many short-circuit studies, the number and size of motors, either induction or synchronous, is not known precisely. However, the short-circuit contribution from these motors must be estimated. In such cases the following table of reactances is used to account for a large number of small induction and synchronous motors.

Item	Motor Ratings and Corrections	Subtransient Reactance X''d (Percent)	Transient Reactance X'd (Percent)
1	600 volts or less—induction	25	—
2	600 volts or less—synchronous (items 1 and 2 include motor leads)	25	33
3	600 volts or less—induction	31	—
4	600 volts or less—synchronous (items 3 and 4 include motor leads and step-down transformers)	31	39
5	Motors above 600 volts—induction	20	—
6	Motors above 600 volts—synchronous	15	25
7	Motors above 600 volts—induction	26	—
8	Motors above 600 volts—synchronous (items 7 include step-down transformers)	21	31

**Table 18—Synchronous Machines**  
 Percent Values on Machine kVA Rating

(A) Generators	X''d		X'd	
	Range	Mean	Range	Mean
(1) Turbo Generators (distributed pole)				
2 pole, 625-9375 kVA	6-13	9		
2 pole, 12,500 kVA-up	8-12	10		
4 pole, 12,500 kVA-up	10-17	14		
(2) Salient-pole Generators (without amortisseur)				
12 poles or less	15-35	25		
14 poles or more	25-45	35		
(3) Salient-pole Generators* (with amortisseur)				
12 poles or less	10-25	18		
14 poles or more	18-40	24		
(B) Synchronous Condensers	9-38	24		
(C) Synchronous Converters				
600 V dc	17-22	20		
250 V dc	28-38	33		
(D) Synchronous Motors**				
6 pole	7-16	10	10-22	15
8-14 pole (incl)	11-22	15	17-36	24

Not used in normal short-circuit calculations.

\* Nearly all salient-pole generators built by GE since 1935 have amortisseur windings.  
 \*\* These data are useful for estimating reactances of individual large motors of several hundred or several thousand horsepower.



**Table 19—Cables**

**Approximate 60-cycle Resistance, Reactance, and Impedance of Copper Conductor Cable per 1000 Feet\***

AWG or MCM	In Magnetic Duct†						In Nonmagnetic Duct‡					
	600-volts and 5 kV Nonshielded			5-kV Shielded and 15 kV			600-volts and 5-kV Nonshielded			5-kV Shielded and 15 kV		
	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z
<b>Three-conductor Cable</b>												
8	.811	.0577	.813	.811	.0658	.814	.811	.0503	.812	.811	.0574	.813
8 (solid)	.786	.0577	.788	.786	.0658	.789	.786	.0503	.787	.786	.0574	.788
6	.510	.0525	.513	.510	.0610	.514	.510	.0457	.512	.510	.0531	.513
6 (solid)	.496	.0525	.499	.496	.0610	.500	.496	.0457	.498	.496	.0531	.499
4	.321	.0483	.325	.321	.0568	.326	.321	.0422	.324	.321	.0495	.325
4 (solid)	.312	.0483	.316	.312	.0508	.317	.312	.0422	.315	.312	.0495	.316
2	.202	.0448	.207	.202	.0524	.209	.202	.0390	.206	.202	.0457	.207
1	.160	.0436	.166	.160	.0516	.168	.160	.0380	.164	.160	.0450	.166
1/0	.128	.0414	.135	.128	.0486	.137	.127	.0360	.132	.128	.0423	.135
2/0	.102	.0407	.110	.103	.0482	.114	.101	.0355	.107	.102	.0420	.110
3/0	.0805	.0397	.0898	.0814	.0463	.0936	.0766	.0346	.0841	.0805	.0403	.090
4/0	.0640	.0381	.0745	.0650	.0446	.0788	.0633	.0332	.0715	.0640	.0389	.0749
250	.0552	.0379	.0670	.0557	.0436	.0707	.0541	.0330	.0634	.0547	.0360	.0666
300	.0464	.0377	.0598	.0473	.0431	.0640	.0451	.0329	.0559	.0460	.0376	.0596
350	.0378	.0373	.0539	.0386	.0427	.0576	.0368	.0328	.0492	.0375	.0375	.0530
400	.0356	.0371	.0514	.0362	.0415	.0551	.0342	.0327	.0475	.0348	.0366	.0505
450	.0322	.0361	.0484	.0328	.0404	.0520	.0304	.0320	.0441	.0312	.0359	.0476
500	.0294	.0349	.0456	.0300	.0394	.0495	.0276	.0311	.0416	.0284	.0351	.0453
600	.0257	.0343	.0429	.0264	.0382	.0464	.0237	.0309	.0389	.0246	.0344	.0422
750	.0216	.0326	.0391	.0223	.0364	.0427	.0197	.0297	.0355	.0203	.0332	.0389

**Three Single-conductor Cable**

8	.811	.0754	.814	.811	.0860	.816	.811	.0603	.813	.811	.0688	.814
8 (solid)	.786	.0754	.790	.786	.0860	.791	.786	.0603	.788	.786	.0688	.789
6	.510	.0685	.515	.510	.0796	.516	.510	.0548	.513	.510	.0636	.514
6 (solid)	.496	.0683	.501	.496	.0796	.502	.496	.0548	.499	.496	.0636	.500
4	.321	.0632	.327	.321	.0742	.329	.321	.0506	.325	.321	.0594	.326
4 (solid)	.312	.0632	.318	.312	.0742	.321	.312	.0506	.316	.312	.0594	.318
2	.202	.0585	.210	.202	.0685	.214	.202	.0467	.207	.202	.0547	.209
1	.160	.0570	.170	.160	.0675	.174	.160	.0456	.166	.160	.0540	.169
1/0	.128	.0540	.139	.128	.0635	.143	.127	.0432	.134	.128	.0507	.138
2/0	.102	.0533	.115	.103	.0630	.121	.101	.0426	.110	.102	.0504	.114
3/0	.0805	.0519	.0958	.0814	.0605	.101	.0766	.0415	.0871	.0805	.0484	.0939
4/0	.0640	.0497	.0810	.0650	.0583	.0929	.0633	.0398	.0748	.0640	.0466	.0792
250	.0552	.0495	.0742	.0557	.0570	.0797	.0541	.0396	.0670	.0547	.0456	.0712
300	.0464	.0493	.0677	.0473	.0564	.0736	.0451	.0394	.0599	.0460	.0451	.0644
350	.0378	.0491	.0617	.0386	.0562	.0681	.0368	.0393	.0536	.0375	.0450	.0586
400	.0356	.0490	.0606	.0362	.0548	.0657	.0342	.0392	.0520	.0348	.0438	.0559
450	.0322	.0480	.0578	.0328	.0538	.0630	.0304	.0384	.0490	.0312	.0430	.0531
500	.0294	.0466	.0551	.0300	.0526	.0605	.0276	.0373	.0464	.0284	.0421	.0508
600	.0257	.0463	.0530	.0264	.0516	.0580	.0237	.0371	.0440	.0246	.0412	.0479
750	.0216	.0445	.0495	.0223	.0497	.0545	.0194	.0356	.0405	.0203	.0396	.0445

\* Resistance based on tinned copper at 60 cycles per 1000 feet at 75 C.  
 Reactance of 600-volt and 5-kV nonshielded cable based on General Electric 5-kV varnished-cambic braided cable.  
 Reactance of 5-kV shielded and 15-kV cable based on 5-kV shielded Super Coronol-Geoprene cable.

† Also applies to steel interlocked armor used on 3 c cables.

‡ Also applies to aluminum interlocked armor used on 3 c cables.

NOTE: Since Aluminum has 61% of the conductivity of copper (or 1.64 times the Resistivity of Copper) the above tables for Copper can also be used for Aluminum cable. The following formulas should be applied:

$$R = 1.64 R_{Cu}$$

$$X = X_{Cu}$$

Table 20 -GE Busway Impedances

Busway Type	Ampere Rating	Ohms Per 100 Feet Line-To-Neutral		
		60-HZ Alternating Current		
		Resistance (R)	Reactance (X)	Impedance (Z)
LVP Feeder With Aluminum Bus Bars	600	0.00228	0.00228	0.00322
	800	0.00181	0.00181	0.00256
	1000	0.00149	0.00149	0.00218
	1200	0.00122	0.00122	0.00173
	1350	0.00105	0.00105	0.00149
	1500	0.00091	0.00091	0.00130
LVP Feeder With Copper Bus Bars	600	0.00200	0.00200	0.00283
	800	0.00152	0.00152	0.00212
	1000	0.00122	0.00122	0.00173
	1200	0.00098	0.00098	0.00138
	1350	0.00085	0.00085	0.00120
	1500	0.00074	0.00074	0.00105
LVP Plug-in Aluminum Bus Bars	225	0.00114	0.00114	0.00161
	400	0.00074	0.00074	0.00105
	600	0.00052	0.00052	0.00074
	800	0.00041	0.00041	0.00058
	1000	0.00034	0.00034	0.00049
	1500	0.00025	0.00025	0.00036
LVP Plug-in Copper Bus Bars	225	0.00100	0.00100	0.00142
	400	0.00066	0.00066	0.00094
	600	0.00049	0.00049	0.00070
	800	0.00039	0.00039	0.00055
	1000	0.00032	0.00032	0.00046
	1500	0.00023	0.00023	0.00033
Ct With Aluminum Bus Bars	1000	0.00770	0.00770	0.01092
	1350	0.00600	0.00600	0.00850
	1600	0.00510	0.00510	0.00724
	2000	0.00400	0.00400	0.00566
	2500	0.00320	0.00320	0.00454
	3000	0.00260	0.00260	0.00370
Ct With Copper Bus Bars	1000	0.00700	0.00700	0.01000
	1350	0.00550	0.00550	0.00770
	1600	0.00470	0.00470	0.00660
	2000	0.00360	0.00360	0.00500
	2500	0.00290	0.00290	0.00410
	3000	0.00240	0.00240	0.00340
Ct With Aluminum Bus Bars	225	0.00352	0.00352	0.00500
	400	0.00228	0.00228	0.00322
	600	0.00152	0.00152	0.00212
	800	0.00105	0.00105	0.00149
	1000	0.00074	0.00074	0.00105
	1500	0.00052	0.00052	0.00074
Ct With Copper Bus Bars	225	0.00324	0.00324	0.00454
	400	0.00212	0.00212	0.00294
	600	0.00142	0.00142	0.00200
	800	0.00100	0.00100	0.00142
	1000	0.00074	0.00074	0.00100
	1500	0.00052	0.00052	0.00074
MTG	100	0.0050	0.0050	0.0070
LVP	30	0.093	0.003	0.093
	60	0.051	0.003	0.051

Table 20-Busway Impedances (Cont'd)

Busway Type	Ampere Rating	Ohms Per 100 Feet Line-To-Neutral		
		60-HZ Alternating Current		
		Resistance (R)	Reactance (X)	Impedance (Z)
ARMOR-CLAD Feeder Aluminum	600	0.00353	0.00135	0.00359
	800	0.00271	0.00097	0.00274
	1000	0.00216	0.00076	0.00217
	1200	0.00173	0.00060	0.00173
	1350	0.00149	0.00051	0.00149
	1500	0.00122	0.00043	0.00122
ARMOR-CLAD Feeder Copper	600	0.00268	0.00168	0.00316
	800	0.00206	0.00135	0.00244
	1000	0.00161	0.00105	0.00188
	1200	0.00122	0.00081	0.00149
	1350	0.00105	0.00069	0.00122
	1500	0.00085	0.00058	0.00098
ARMOR-CLAD Plug-in Aluminum	225	0.00195	0.00045	0.00200
	400	0.00122	0.00028	0.00122
	600	0.00085	0.00021	0.00085
	800	0.00066	0.00016	0.00066
	1000	0.00052	0.00012	0.00052
	1500	0.00036	0.00008	0.00036
ARMOR-CLAD Plug-in Copper	225	0.00173	0.00036	0.00173
	400	0.00114	0.00023	0.00114
	600	0.00085	0.00017	0.00085
	800	0.00066	0.00012	0.00066
	1000	0.00052	0.00009	0.00052
	1500	0.00036	0.00006	0.00036

Fig. 26. Conductor Constants

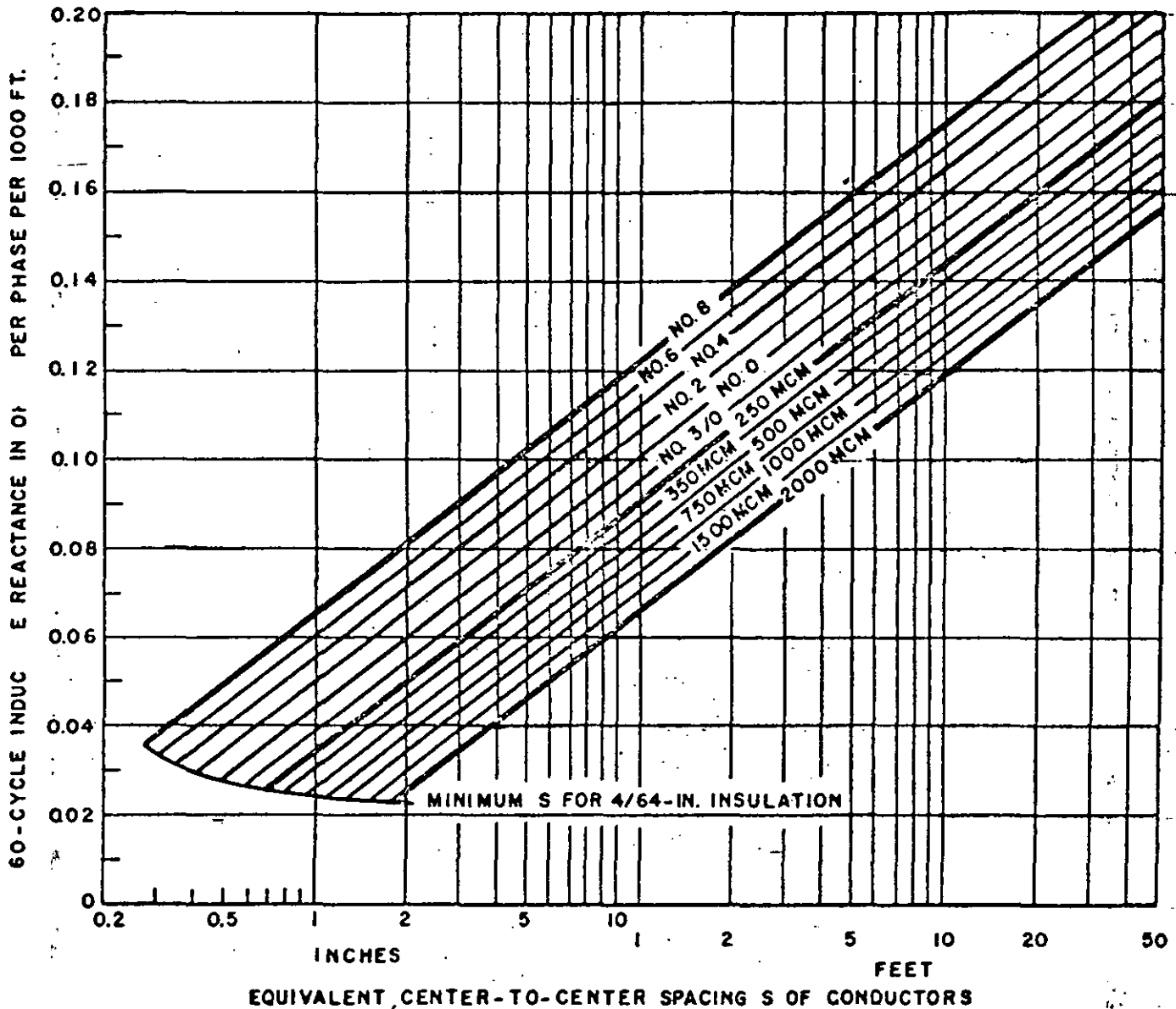


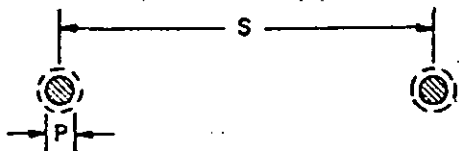
Fig. 26-1. Calculated inductive reactance for parallel conductors with standard stranding where values are per conductor for two-wire, single-phase circuits and line-to-neutral for three-phase circuits.

**OVERHEAD LINES**

Practical transmission lines are often assumed to have a 60-cps positive- or negative-sequence reactance as high as 0.8 ohms/mile (or 0.15 ohms/1000 feet) line-to-neutral. Closer values can be obtained from Fig. 26-1 if the conductor spacing is known. The values in Fig. 26-1 were calculated from the equation

$$X_L = 10^{-6} \left( 15.2 + 140.4 \log \frac{2S}{d} \right)$$

with dimensions according to the following illustration where S and d are in the same units:



For an unsymmetrical arrangement of three conductors, an equivalent

value of S can be derived from the relation

$$S = \sqrt{(S_1)(S_2)(S_3)}$$

There is a considerable amount of variation in the spacing of conductors of overhead lines. Fig. 26-2 gives representative values for current practice on an equivalent-delta basis.

**BUS**

Site-assembled bus will have 60-

Fig. 26 (Cont'd)

cycle inductive reactance (positive- or negative-sequence) varying with conductor spacing according to Fig. 26.3 through 26-5.

The zero-sequence reactance of site-assembled bus, with respect to nearby grounded enclosures or material, will be indefinite because the spacings are not definite. Ratios of  $Z_0/Z_1$  tend to be very large.

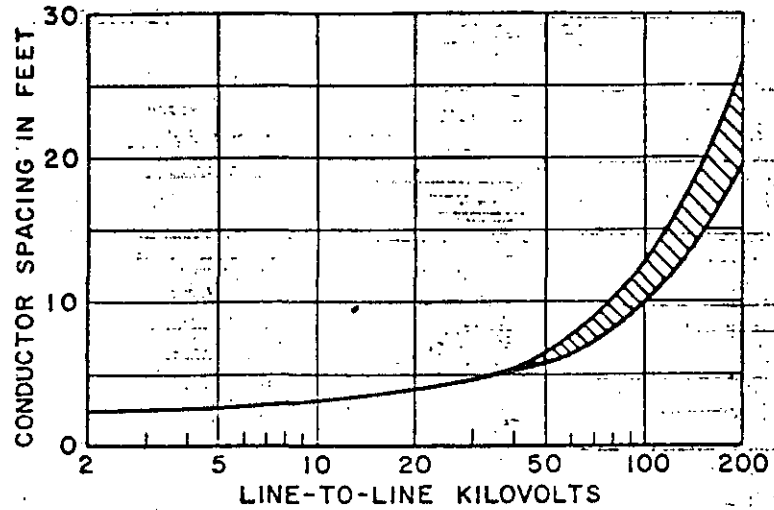


Fig. 26-2. Typical equivalent-delta spacing used for three-wire overhead transmission lines

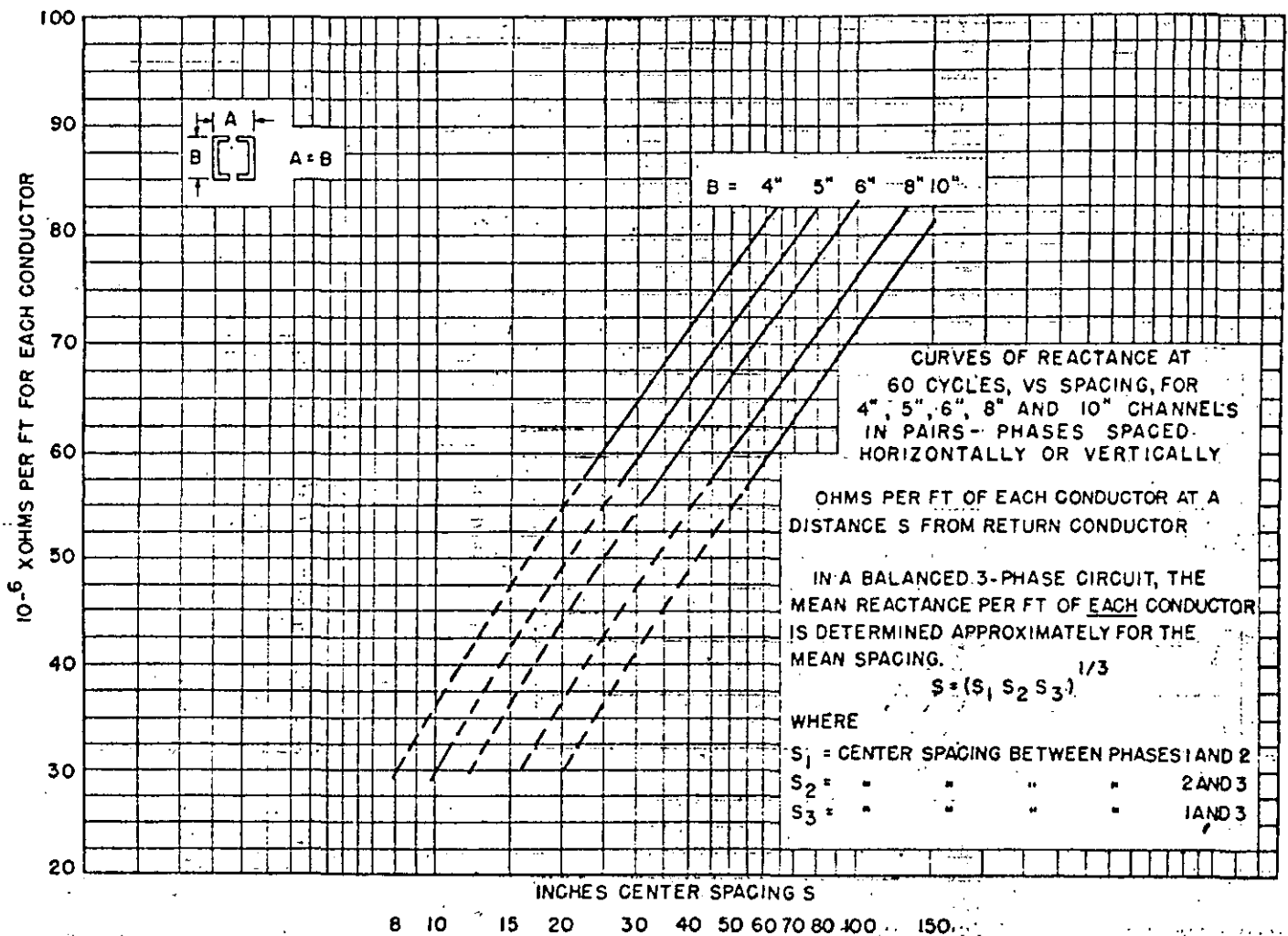


Fig. 26-3

Fig. 26 (Cont'd)

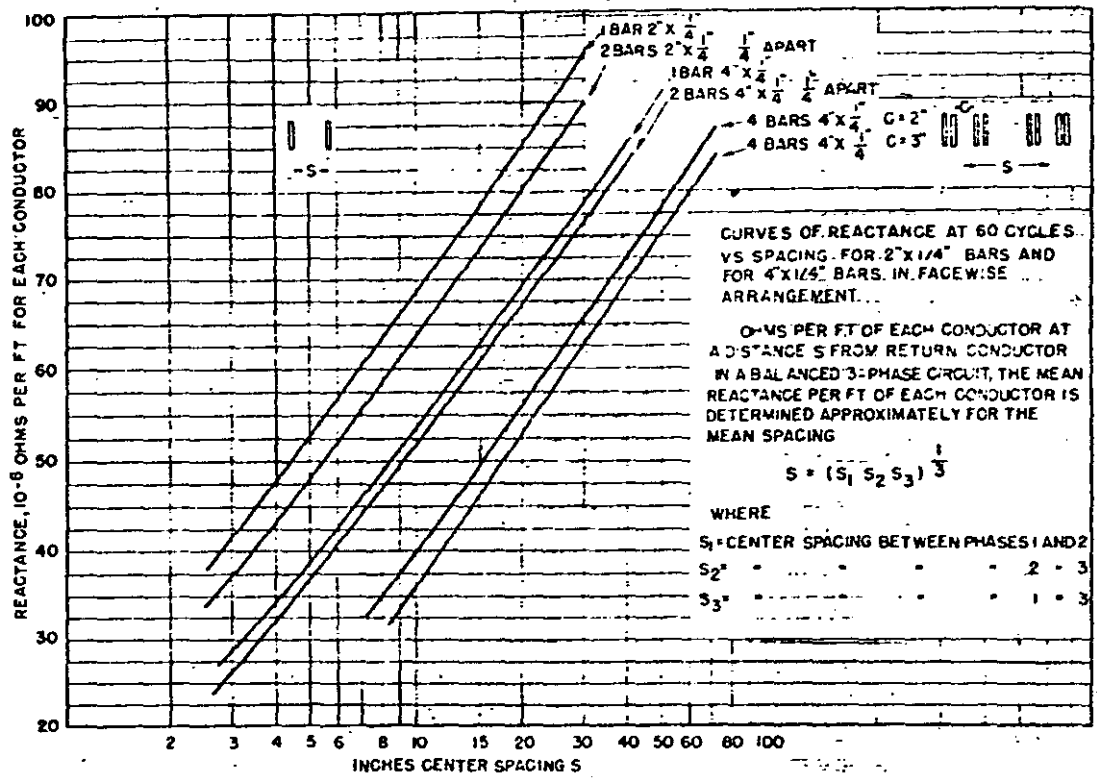


Fig. 26-4

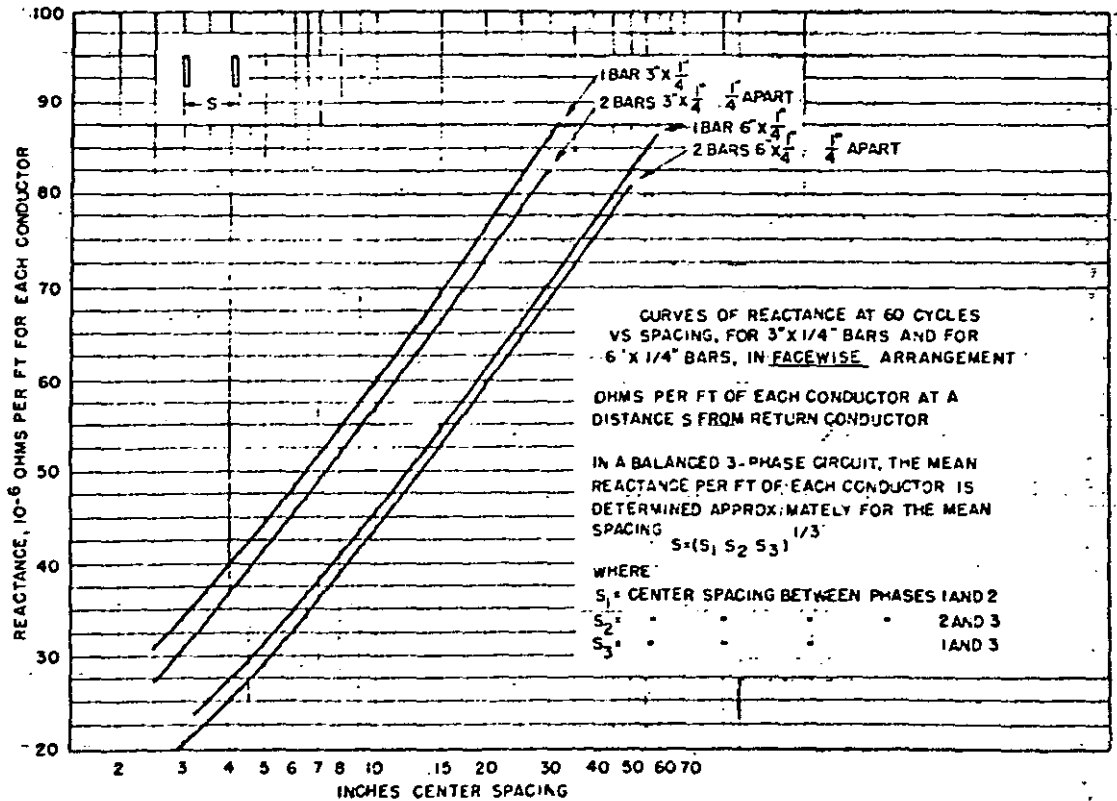


Fig. 26-5

Part III—Short-circuit Ratings of ac Equipment

The short-circuit ratings listed in these tables are representative of standard equipment in current production. Short-circuit ratings of equipment may change from time to time and in addition new equipments and components are continually becoming available so it is suggested that up-to-date short-circuit ratings be verified by consulting the appropriate product bulletin.

Table 21—Molded-case Circuit Breakers

Circuit Breaker Type	Ampere Rating	No. Poles	Maximum Voltage Rating		U/L Listed Interrupting Ratings—Symmetrical rms Amperes ①							
			Ac	Dc	Ac Voltage				Dc Voltage			
					120/240	240	277	480	600	125	250	
Q LINE	THQP	1	120/240		10,000							
		2										
	TQL, TQAL, TQB, TQC	5-10	1	120/240		5000 ②						
		5-10	2									
		110-125	2	120/240		10,000						
		5-10 ③	2	240		5000 ②						
		5-10	3	240		5000 ②						
		15-70	1	120/240		10,000						
	15-60	2										
	15-100	2										
	15-100	3										
	THQB, THQC, THQAL, THQL	15-125	1, 2	120/240		22,000						
		2, 3	240									
CB3*	THQL-GF, THQB-GF	1	120		10,000							
		2										
	TXQL, TXQB, TXQC	15-30	1	120/240		65,000						
		2										
		2, 3	240									
	TQDL	125-200	2	120/240		10,000						
	TQD	100-225	2, 3	240			10,000					
	THQD	100-225	2, 3	240			22,000					
	TJD	250-400	2, 3	240	250		22,000				10,000	
	E-150	TE	1	120	125	10,000 ②						5000
2			250									
TEB		10-100 ③	1	240			10,000					
		2										
		3										
TED		10-50 ③	1	480					10,000			
		10-100 ③	1	277	125			14,000			10,000	
		10-100 ③	2	480	250		18,000		14,000		10,000	
		15-100	3	480			18,000		14,000			
		15-100 ③	2	600	250		18,000		14,000	14,000		10,000
		15-150	3									
		15-30	1	277	125			65,000			20,000 ③	
THED		15-100	2	600	250		65,000		25,000	18,000		20,000 ③
		15-150	3									
												10,000
F 225	TFJ, TFK	2	600	250		25,000		22,000	22,000		10,000	
		3										
		2										
	THFK	70-225	2	600	250		65,000		25,000	22,000		20,000 ③
		3										

① 5-amp, 3000 amp IC, not U/L listed.  
 ② 10-amp not U/L listed.  
 ③ U/L listing pending.  
 ④ D-c interrupting ratings above 10,000 amperes not U/L listed.  
 ⑤ 1-pole TED above 50 Amperes not U/L listed.  
 ⑥ 10- 15 amp 7,500 Ampere symmetrical and asymmetrical  
 20- 50 amp 10,000  
 70-100 amp 5,000

⑦ Interrupting rating based on:  
 Interrupting Rating Ampere Power Factor Min.  
 10,000 or less 0.50  
 10,000-20,000 0.30  
 over 20,000 0.20

\* Trade-mark of General Electric Company.

Continued on next page

Table 21—Molded-case Circuit breakers (Cont'd)

Circuit Breaker Type	Ampere Rating	No. Poles	Maximum Voltage Rating		U/L Used Interrupting Ratings—Symmetrical rms Amperes						
					Ac Voltage					Dc Voltage	
			Ac	Dc	120/240	240	277	480	600	125	250
<b>J 600</b>	VersoTrip TJS	150-600	3	600		42,000		30,000	22,000		
	TJJ, TJK4	125-400	2	600	250	42,000		30,000	22,000		10,000
			3								
	TJK6	250-600	2	600	250	42,000		30,000	22,000		10,000
			3								
	THJK4	125-400	2	600	250	65,000		35,000	25,000		20,000 ③
3											
THJK6	250-600	2	600	250	65,000		30,000	25,000		20,000 ③	
		3									
<b>K 1200</b>	VersoTrip TKS	800-1200	3	600		42,000		30,000	22,000		
	TKMB	300-800	2	600	250	42,000		30,000	22,000		10,000
			3								
	TKM12	600-1200	2, 3	600		42,000		30,000	22,000		
	THKM8	300-800	2	600	250	65,000		35,000	25,000		20,000 ③
			3								
THKM12	600-1200	2, 3	600		65,000		35,000	25,000			
<b>TRI-BREAK ⑤</b>	TB1	15-100	2	600		100,000		100,000	100,000		Refer to Company
			3								
	①TB4	125-400	2	600		200,000		200,000	200,000		Refer to Company
			3								
	TB6	300-600	2	600		100,000		100,000	100,000		Refer to Company
			3								
①TB8	600-800	2	600		200,000		200,000	200,000		Refer to Company	
		3									
<b>POWER BREAK*</b>	TPS	600-4000	2, 3	600		100,000		100,000	85,000		40,000 ③
	VersoTrip TP55		3	600		100,000		100,000	85,000		
	THS		2, 3	600		200,000		150,000	100,000		40,000 ④
	VersoTrip TH55		3	600		200,000		150,000	100,000		
<b>MAG-BREAK</b>	TEC	3-150	2, 3	600		10,000		10,000	10,000		
	①TECL & TEC	3-150	2, 3	600		100,000		100,000	100,000		
	①TFC	225	2, 3	600	250	75,000		22,000	22,000		10,000
	TBC4	225-400	2, 3	600		100,000		100,000	100,000		
	TJC	400-600	2, 3	600	250	42,000		30,000	22,000		10,000
	TBC6	600	2, 3	600		200,000		200,000	200,000		
	TKC	800-1200	2, 3	600	250	42,000		30,000	22,000		10,000
	①TBC8	800	2, 3	600		200,000		200,000	200,000		

- ① Not UL listed. Interrupting ratings based on NEMA test procedures.
- ② UL listing pending.
- ③ Dc interrupting ratings above 10,000 amperes not UL listed.
- ④ Rating shown for TEC in combination with TECL.
- ⑤ UL listed with internally mounted accessories at 100,000 amperes IC.

Table 22—Type AK Low-voltage Power Circuit Breaker Short-circuit Rating (ANSI Standard C37)

Ac Voltage Rating 60 Hertz	Breaker Type	Maximum Breaker Frame Rating in Amperes	Short-time Rating in Symmetrical Amperes	Short-Circuit Rating in (rms) Symmetrical Amperes		Maximum Overcurrent Trip Device Rating in Amperes				Power Sensor
				With Instantaneous Trips	Without Instantaneous Trips	EC Trip Coils				
						With Instantaneous Characteristic	With 2C or 2CC Instantaneous Characteristic	With 2B or 2BB Instantaneous Characteristic	With 7A or 2AA Instantaneous Characteristic	
600	AK-25	600	22,000	22,000	22,000	40	175	200	250	45
	AK-50, AKR-50	1600	42,000	42,000	42,000	200	350	400	500	200
	AKT-50	2000	42,000	42,000	42,000	200	350	400	500	2000
	AK-75	3000	65,000	65,000	65,000	2000	2000	2000	2000	1500
	AK-100	4000	85,000	85,000	85,000	2000	2000	2000	2000	2000
480	AK-25	600	22,000	30,000	22,000	100	175	200	250	45
	AK-50, AKR-50	1600	50,000	50,000	50,000	400	350	400	500	200
	AKT-50	2000	50,000	50,000	50,000	400	350	400	500	2000
	AK-75	3000	65,000	65,000	65,000	2000	2000	2000	2000	1500
	AK-100	4000	85,000	85,000	85,000	2000	2000	2000	2000	2000
240	AK-25	600	22,000	42,000	22,000	150	175	200	250	45
	AK-50, AKR-50	1600	50,000	65,000	50,000	600	350	400	500	200
	AKT-50	2000	50,000	65,000	50,000	600	350	400	500	2000
	AK-75	3000	65,000	85,000	65,000	2000	2000	2000	2000	1500
	AK-100	4000	85,000	130,000	85,000	2000	2000	2000	2000	2000

Table 23—Type AKU Low-voltage Power Circuit Breakers with Current-limiting Fuses

AKU power circuit breakers may be used on circuit with up to 200,000 symmetrical (rms) amperes available provided maximum fuse size does not exceed that in following table. Refer to GEA-8733 for coordination of fuse with trip rating.

Breaker Type	Frame Size	Max. Voltage (AK)	Max. Fuse Rating (JL) (Amperes)
AKU-2A-25	600	600	1200*
AKU-2A-50	1600	600	2000*
AKU-2A-75	3000	600	3000†
AKU-2A-100	4000	600	4000†

\*Fuses mounted integrally with CB  
†Fuses mounted on drawout carriage in compartment below CB

Table 26—Current-limiting Fuses Type CLF

Class	Voltage	Available Ampere Rating	Interrupting Rating (rms) Symmetrical Amperes UL Listed
K-5	250V and 600V ac	6-200 Δ	200,000
J	600V ac	3-600	200,000
L	600V ac	601-4000	200,000

Δ Class J fuses with adapters to fit K-5 fuse spacings available for 225-600 amperes.

Table 24—High-pressure Contact Switches—Type HPC with Class L Fuses

Switch Ampere Rating	UL listed short circuit withstand rating symmetrical (rms) amperes
800-4000	200,000

® Registered trademark GE CO.

‡ Circuit power factor 20% or larger.

Table 25—Fusible Switch Short-Circuit Ratings

Maximum Short-circuit Interrupting Rating in Symmetrical Rms Amperes			Description
Switch Type		With Fuse	
QMR	QMW	Type	One-time and time-delay One-time and time-delay, 480-volt maximum Current-limiting time-delay Current-limiting Current-limiting 800-1200 amp only.†
25,000	50,000	K9	
50,000	100,000	K5 <sup>6</sup>	
100,000	100,000	K5	
200,000	200,000	K, J & J	
200,000		Class L	

Δ The interrupting rating of the fuse must equal or exceed the short-circuit rating of the switch. If it is lower, then the interrupting rating of the switch is the same as for the fuse. Both QMR and QMW switches have no short-circuit rating if renewable fuses are used.

<sup>8</sup> Not available in ratings above 400 amperes.  
<sup>6</sup> When used on systems above 480 volts, the switch short-circuit ratings are 25,000 for QMR and 50,000 for QMW switches.  
<sup>\*</sup> 800- and 1200-ampere QMR switches are designed to accept only Class L fuses.



**Table 27—Molded-case Circuit Breakers Protected by Current-limiting Fuses**

Circuit breakers protected as shown in following tables by current limiting fuses (J, L and K-1) may be applied in systems with available short circuit currents in excess of the CB interrupting ratings shown in Table 21.

The fuse sizes shown are based on tests of fuses and circuit breakers. Larger sizes selected on calculated values of equivalent let through current may not provide adequate protection and should not be used.

**Explanation of Terms Used:**

**Maximum Fuse-line Side** is the maximum fuse rating that can be used with the circuit breaker. The fuse must be connected on the line side of the circuit breaker.

**Maximum Fuse-load Side** is the largest size fuse that can be used on the load side of the circuit breaker. These ratings are lower than line-side-mounted fuse ratings because the high transient arcing voltage created across the fuse is impressed across the trip and internal parts of the circuit breaker dur-

ing a fault interruption. Higher ratings may cause flash over within the circuit breaker during an interruption.

**Minimum Fuse Rating-H1 or L0** is the smallest fuse rating that may be used that will clear the knee of the circuit breaker curve. This takes full advantage of the thermal overload protection provided by the circuit breaker, thus eliminating nuisance fuse blowing at these ratings. Since fuse characteristics vary among manufacturers, values shown are typical.

**Table 27—Coordination Table for Selecting Fuses when Circuit Breaker Rating is Known**

Class J, L or K-1 Current-limiting Fuse Rating—Amperes

Circuit Breaker Amp Rating	THQP ①		THQB, THQC, THQL ②		THQB, THQC ①, THQL		TXQB, TXQC, TXQL ②		TQD ①			THQD ①			TJD ①			Circuit Breaker Amp Rating
	Line Side		Line Side		Line Side		Line Side		Min.	Maximum		Min.	Maximum		Min.	Maximum		
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		Load Side	Line Side		Load Side	Line Side		Load Side	Line Side	
5																		5
10																		10
15	50	100	50	200			50	300										15
20	50	100	50	200			50	300										20
25	50	100	50	200														25
30	70	100	70	200			70	300										30
35	70	100	70	200														35
40	100	100	100	200	100	300												40
45	100	100	100	200	100	300												45
50	100	100	100	200	100	300												50
60			100	200	100	300												60
70			150	200	150	300												70
80			200	200	200	300												80
90			200	200	200	400												90
100			200	300	200	400			200	600	800	200	800	1000				100
110			200	300	200	400			200	600	800	200	800	1000				110
125			200	300	200	400			200	600	800	200	800	1000				125
150									300	600	800	300	800	1000				150
175									400	600	800	400	800	1000				175
200									400	600	800	400	800	1000				200
225									400	600	800	400	800	1000				225
250															600	800	1000	250
300															600	800	1000	300
350															600	800	1000	350
400															600	800	1000	400

① 240 volts ac, 65,000 maximum available current in symmetrical rms amperes on which combination may be applied.  
 ② 240 volts ac, 100,000 maximum available current in symmetrical rms amperes on which combination may be applied.

The following fuse-breaker selection table is based on the use of Class J, L, and K-1 fuse.

Class J fusing is recommended over Class K-1 fusing. With Class J

fusing a rejection feature is inherently part of the Class J fuse and fuse mounting and only Class J fuses can be installed.

Class K-1 fuses mount in standard

non-rejection type fuse holders that do not reject other classes of fuses that will not provide the protection afforded by Class K-1 fuses.

Table 27-1—Coordination Table for Selecting Fuses when Circuit Breaker Rating is Known

Circuit Breaker Amp Rating	Class J, L or K-1 Current-limiting Fuse Rating—Amperes																								
	TEC ①			TEB ②			TED, THED ③			F 225 ④				J 600 ⑤				K 1200 ⑥				Power-Break ⑦			
	Min Fuse	Max Fuse		Min Fuse	Max Fuse		Min Fuse	Max Fuse		Min Fuse		Max Fuse		Min Fuse		Max Fuse		Min Fuse		Max Fuse		Min Fuse		Max Fuse	
		Load Side	Line Side		Load Side	Line Side		Load Side	Line Side	Mag Trip LO	Mag Trip HI	Load Side	Line Side	Mag Trip LO	Mag Trip HI	Load Side	Line Side	Mag Trip LO	Mag Trip HI	Load Side	Line Side	Mag Trip LO	Mag Trip HI	Load Side	Line Side
3	15	20	30																						
7	20	20	30																						
15	30	30	50	50	100	200	70	200	400																
20				50	100	200	70	200	400																
25				50	100	200	100	200	400																
30	60	100	100	60	100	200	100	200	400																
35				100	100	200	100	200	400																
40				100	100	200	100	200	400																
45				100	150	200	100	300	400																
50	100	100	200	100	150	200	100	300	400																
60				125	200	300	125	300	400																
70				200	200	300	200	300	400	200	400	800	1000												
80				200	200	300	200	300	400	200	400	800	1000												
90				200	200	300	200	300	400	200	400	800	1000												
100	200	200	300	200	200	300	200	300	400	300	400	800	1000												
110										300	400	800	1000												
125										300	400	800	1000	300	400	1000	1200								
150	300	300	300				300	300	400	300	400	800	1000	300	400	1000	1200								
175										300	400	800	1000	300	400	1000	1200								
200										400	600	1000	1000	400	600	1000	1200								
225										400	600	1000	1000	400	600	1000	1200								
250										400	600	1000	1000	400	600	1000	1200								
300														600	800	1000	1200	600	800	1200	1600				
350														600	800	1200	1600	600	800	1200	1600				
400														600	1000	1200	1600	600	800	1200	1600				
450														600	1000	1200	1600	600	800	1200	1600				
500														800	1200	1200	1600	800	1200	1200	1600				
600														800	1200	1200	1600	1000	1200	1200	1600	1000	2500	4000	
700																		1200	1600	1600	2000	1200	2500	4000	
800																		1200	1600	1600	2000	1200	2500	4000	
1000																		1600	2000	1600	2000	1600	3000	4000	
1200																		1600	2000	1600	2000	1600	3000	4000	
1400																						2000	4000	4000	
1600																						2000	4000	4000	
1800																						2500	4000	4000	
2000																						2500	4000	4000	
2300																						4000	5000	5000	
2500																						4000	5000	5000	
3000																						4000	5000	5000	
4000																						4000	5000	5000	

- ① 600 volts ac, 65,000 maximum available current in symmetrical rms amperes on which combination may be applied.
- ② 240 volts ac, 200,000 (100,000 with Class K-1 fuses) maximum available current in symmetrical rms amperes on which combination may be applied.
- ③ 600 volts ac, 200,000 (100,000 with Class K-1 fuses) maximum available current in symmetrical rms amperes on which combination may be applied.

Table 28—Individually Mounted Combination Motor Starters

Type	NEMA Size	Maximum System Voltage	Three-phase Short-circuit Rating Symmetrical Amperes ①
Circuit Breaker TEB TED	0, 1, 2, 3	240 600	10,000 14,000
Motor Circuit Protector & Limiter TEC & TECL	0, 1, 2, 3	600	100,000
Circuit Breaker Motor Circuit Protector Limiter TFJ TEC & TECL	4	600 600	14,000 100,000
Circuit Breaker TJJ TKJ 4, 6	5	600 600	22,000 22,000
Circuit Breaker TKMA	6	600	22,000
Fusible	0, 1, 2, 3, 4, 5	600	Current Limiting J,R 100,000

Combination starters with circuit breakers or fuses listed are adequate for installation in motor branch circuits where the available short-circuit current at the incoming line terminals of the circuit breaker or fusible disconnect switch does not exceed the values indicated in Table 28.

④ After a fault, maintenance and replacement of some components or devices may be required.

Table 29—Molded-case Circuit Breakers Protected by TRI-BREAK<sup>®</sup> Circuit Breakers

Molded-case circuit breakers may be used on systems with available short-circuit currents in excess of the values shown in Table 21 in accordance with the following table.

Type Circuit Breakers (Downstream)	Circuit Breaker Trip Rating (Amperes)	Service Voltage	T <sub>B1</sub> 15 to 30 Amperes (3E05 Standard Limiter) Available rms Symmetrical Amperes (in 1000's)				T <sub>B1</sub> 40 to 100 Amperes (6E09 Standard Limiter) Available rms Symmetrical Amperes (in 1000's)				T <sub>B4</sub> 125 to 400 Amperes (10F14 Standard Limiter) Available rms Symmetrical Amperes (in 1000's)				T <sub>B6</sub> 125 to 600 Amperes (10J14 Standard Limiter) Available rms Symmetrical Amperes (in 1000's)				T <sub>B8</sub> 600 to 800 Amperes (15K18 Standard Limiter) Available rms Symmetrical Amperes (in 1000's)			
			200	100	50	25	200	100	50	25	200	100	50	25	200	100	50	25	200	100	50	25
			TQL, TQB, TQC	15-30	240	✓	✓	✓	✓													
THQL, THQB, THQC	15-30	240	✓	✓	✓	✓																
TXQL, TXQB, TXQC	15-30	240	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
TQL, TQB, TQC	40-100	240																				
THQL, THQB, THQC	40-100	240																				
TQD	125-225	240									✓ <sup>①</sup>	✓	✓	✓								
TJD	250-400	240									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E-100 Line																						
T <sup>a</sup>	15-30	240	✓	✓	✓	✓																
I	TED6, THED	15-30	✓	✓	✓	✓																
TE <sup>b</sup>	40-100	240																				
YED4, YED6, YTHED	40-100	240					✓	✓	✓	✓												
YED	15-30	277	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
YTHED	15-30	277	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
YED	40-100	277																				
YED4, YED6, YTHED	15-30	480	✓	✓	✓	✓																
YED4, YED6, YTHED	40-100	480																				
YED6, YTHED	15-30	600	✓	✓	✓	✓																
YED6, YTHED	40-100	600																				
F-725 Line																						
YFJ-TFK, YTHFK	70-125	240, 480, 600																				
YFJ-TFK, YTHFK	150-225	240, 480, 600									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J-400 Line																						
JK, THJK	125-400	240									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TJS	250-600	240									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TJJ-TJK, THJK	125-225	480, 600																				
TJJ-TJK, THJK	250-400	480, 600									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TJK, TJS	250-600	480, 600									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K-1200 Line																						
TKM, THKM, TKS	125-800	240, 480, 600													✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

<sup>a</sup> Trade-mark of the General Electric Company.  
 TRI-BREAK Circuit Breakers with Limiters having lower than standard continuous current ratings are available. Check time-current curves for coordination as unnecessary limiter blowing may result.  
 T<sub>B1</sub>, 40-100 amperes, with 3E05 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B1</sub>, 15-30 amperes with 3E05 Limiters.  
 T<sub>B4</sub>, 125-400 amperes with 3F05 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B1</sub>, 15-30 amperes with 3E05 Limiters.  
 T<sub>B4</sub>, 125-400 amperes with 6F09 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B1</sub>, 40-100 amperes with 6E09 Limiters.  
 T<sub>B6</sub>, 125-600 amperes with 6J09 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B1</sub>, 40-100 amperes with 6E09 Limiters.  
 T<sub>B6</sub>, 125-600 amperes with 3J05 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B1</sub>, 15-30 amperes with 3E05 Limiters.  
 T<sub>B8</sub>, 125-600 amperes with 15J20 Limiters, will protect some downstream breakers as T<sub>B8</sub>, 600-800 amperes with 15K18 Limiters.  
 (T<sub>B4</sub>, 125-400 amperes with 6F09 Limiter.  
 (T<sub>B6</sub>, 125-600 amperes with 6J09 Limiter.

Table 30—Medium-voltage Motor Starters—2400 and 4800 Volts-type LIMITAMP

LIMITAMP Controller (Amperes)	Interrupting Capacity &VA Symmetrical*	
	2400 Volts	4800 Volts
400	200,000	400,000
700	260,000	520,000

\*Ratings assigned in accordance with NEMA Standard ICS 2-324.

Table 31—Motor Control Centers, 600 Volts Maximum

Standard bus bracing for motor-control centers is 22,000 symmetrical (rms) amperes. 42,000, 65,000 and 85,000 amperes bracing is available. Table 32 shows bus bracing, combination starters and feeder units to be used for different available short-circuit currents.

**Table 32—Bus Bracing and Combination Motor-control Unit Recommendations for Ac Applications, 600 Volts Max.**  
(All ratings in rms symmetrical amperes.)

Maximum available short-circuit current, includes motor contribution	Incoming-line protection ①	Bus with standard 22,000 bracing	Bus with 42,000A bracing	Bus with 42,000A bracing	Bus with 65,000A bracing	Bus with standard 22,000A bracing	Bus with 42,000A bracing	Bus with 65,000A bracing	Bus with standard 22,000A bracing
22,000A	CB rated 22,000A or above ②	Any listed CB motor starter	CB feeder fully rated ③	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J,K,L or GE CLF Class H fuses	FU-SW feeder fully rated ④				
30,000A	CB rated 30,000A or above	CB motor starters size 5, 6,7 with CT operated OL's CB fully rated	CB feeder fully rated ③	Any listed motor starter with TEC CB and limiter	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, KS L or GE CLF Class H fuses				
42,000A	CB rated 42,000A or above	CB motor starters size 5, 6,7 with CT operated OL's CB fully rated	CB feeder fully rated ③	Any listed motor starter with TEC CB and limiter	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, KS L or GE CLF Class H fuses				
65,000A	CB rated 65,000A or above	CB motor starter size 5, 6,7 with CT operated OL's CB fully rated	CB feeder fully rated ③	Any listed motor starter with TEC CB and limiter	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, L or GE CLF Class H fuses				
85,000A	Any listed FU-SW with U/L listed Class L fuses 800A max	Any listed CB motor starter	CB feeder fully rated ③	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, L or GE CLF Class H fuses	FU-SW feeder fully rated ④				
85,000A	Any listed FU-SW with U/L listed Class L fuses 1600A max	CB motor starters size 5, 6,7 with CT operated OL's CB fully rated	CB feeder fully rated ③	Any listed motor starter with TEC CB and limiter	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, L or GE CLF Class H fuses				
85,000A	Any listed FU-SW with U/L listed Class L fuses 2500A max	CB motor starters size 5, 6,7 with CT operated OL's CB fully rated	CB feeder fully rated ③	Any listed motor starter with TEC CB and limiter	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J, KI, L or GE CLF Class H fuses				
85,000A	Incoming line reactor 600A max. rated A-85,000/14,000A B-85,000/22,000A CB rated A-14,000A B-22,000A or above ②	Any listed CB motor starter	CB feeder fully rated ③	Any listed FU-SW motor starter with U/L listed Class J,K,L or GE CLF Class H fuses	FU-SW feeder fully rated ④				

Interrupting ratings are in accordance with ICS-2-322. Circuit power factor 20% or larger individual component or devices may require maintenance or replacement.

- ① Can be located external to motor control center, but must be provided.
- ② 12,000 ampere or less instantaneous trip is required.
- ③ See Tables 21 and 22 for circuit breaker interrupting ratings. Circuit breakers may additionally be fuse protected for applications on higher available short-circuit currents.
- ④ See Table 25 for switch-fuse combination short-circuit ratings. Nomenclature: A-Amperes; CB-Circuit breaker; FU-SW-Fusible switch; OL-Overload.

Table 33—Busway Short-circuit Ratings<sup>①</sup>

Busway		3-Phase Short-circuit Ratings in rms Amperes		Busway		3-Phase Short-circuit Ratings in rms Amperes	
Type	Rating in Amperes	Actual Ratings Assigned		Type	Rating in Amperes	Actual Ratings Assigned	
		Aluminum Bus Bars Symmetrical (Thousands) Amperes	Copper Bus Bars Symmetrical (Thousands) Amperes			Aluminum Bus Bars Symmetrical (Thousands) Amperes	Copper Bus Bars Symmetrical (Thousands) Amperes
LW	30 & 60	.....	10*	ARMOR CLAD Feeder	600	70	60
LTG	50	5	.....		800	80	65
TK	100	.....	5		1000	90	75
DH	100	14	.....		1200	90	85
FVA (Alum. Bus) and FVK (Copper Bus)	225	14	14		1350	90	90
	400	22	22		1600	160	100
	600	22	22		2000	160	150
	800	22	22		2500	170	155
	1000	.....	22		3000	175	160
LVD and LVDP	600	35	.....		4000	185	165
	800	60	35	5000	.....	180	
	1000	70	65	ARMOR CLAD Plug-in	225	20	20
	1350	85	70		400	50	22
	1600	105	85		600	50	50
	2000	140	105		800	55	50
	2500	175	140		1000	60	50
	3000	175	175		1200	65	55
	4000	175	175		1350	70	60
	5000	175	175		1600	115	65
			2000		120	105	
			2500		135	115	
			3000	—	125		

<sup>①</sup>—Single Phase.

Short-circuit ratings have been assigned to all General Electric busway based on tests performed in accordance with NEMA standard BU1-1972. This standard requires that the busway must withstand without impairing its normal functioning for at least 3 cycles (on a 60-Hertz basis) a current equal to its rated short-circuit current, circuit power factor 20% or larger. It is assumed that suitable overcurrent protection is provided which will clear the circuit within that time. General Electric Type AK large air circuit breakers, molded-case circuit breakers or pressure-switches with CLF<sup>®</sup> fuses will interrupt the circuit within this time period if properly selected. Where short-circuit current exceeds the assigned ratings, General Electric CFF fuses should be used. See Table 34.

Table 34—Maximum Fuse Rating for Busway Short-circuit Protection

BUSWAY Short-circuit Rating Amperes, Sym.	MAXIMUM CLF FUSE RATING (CLASS J OR CLASS I) Available rms-symmetrical short-circuit current				
	25,000	50,000	75,000	100,000	200,000
5,000	200	100	100	100	60
7,500	400	200	200	200	100
14,000	600	600	400	400	400
22,000	1200	1000	600	600	600
35,000	.....	1600	1200	1200	1000
42,000	.....	2000	1600	1600	1200
60,000	.....	.....	2500	2500	2000
66,000	.....	.....	3000	2500	2000
70,000	.....	.....	3000	2500	2500
85,000	.....	.....	.....	4000	3000
105,000	.....	.....	.....	.....	4000
140,000	.....	.....	.....	.....	4000
175,000	.....	.....	.....	.....	4000

Table 35—Power Circuit Breaker Characteristics (Symmetrical rating Basis ANSI C37.06-1969)

Identification			Rated Values						Related Required Capabilities					
Line Number	Nominal Voltage Class kV, rms	Nominal J-phase mVA Class	Voltage		Insulation Level		Current		Rated Interrupting Time Cycles	Rated Permissible Tripping Delay, Y Sec	Rated Maximum Voltage Divided by K kV, rms	Current Values		
			Rated Maximum Voltage (1)* kV, rms	Rated Voltage Range Factor, K (‡)	Rated Withstand Test Voltage		Rated Continuous Current at 60 Hz amp, rms	Rated Short-circuit Current (at Rated Max kV) (‡) (.) kA, rms				Maximum Symmetrical Interrupting Capability (5) kA, rms	3 Sec. Short-time Current Carrying Capability kA, rms	Closing and Latching Capability 1 & K Times, Rated Short-circuit Current kA, rms
					Low Frequency kV, rms	Impulse kV Crest								
1	4.16	75	4.76	1.36	19	60	1200	8.8	5	2	3.5	12	12	19
3	4.16	250	4.76	1.24	19	60	1200	29	5	2	3.85	36	36	58
4	4.16	250	4.76	1.24	19	60	2000	29	5	2	3.85	36	36	58
4A	4.16	350	4.76	1.19	19	60	1200	41	5	2	4.0	49	49	78
4B	4.16	350	4.76	1.19	19	60	3000	41	5	2	4.0	49	49	78
4D	7.2	500	8.25	1.25	36	95	1200	33	5	2	6.6	41	41	66
4E	7.2	500	8.25	1.25	36	95	2000	33	5	2	6.6	41	41	66
6	13.8	500	15	1.30	36	95	1200	18	5	2	11.5	23	23	37
7A	13.8	750	15	1.30	36	95	1200	28	5	2	11.5	36	36	58
7B	13.8	750	15	1.30	36	95	2000	28	5	2	11.5	36	36	58
8	13.8	1000	15	1.30	36	95	1200	37	5	2	11.5	48	48	77
9	13.8	1000	15	1.30	36	95	3000	37	5	2	11.5	48	48	77

Non-Standard Breakers—High Close and Latch Capability

10	4.16	250	4.76	1.24	19	60	1200 2000	29	5	2	3.85	36	36	78
11	13.8	500	15	1.30	36	95	1200 2000	18	5	2	11.5	23	23	58
12	13.8	750	15	1.30	36	95	1200 2000	28	5	2	11.5	36	36	77

\*Symbols in parentheses refer to the Notes, below.

† Maximum voltage for which the breaker is designed and the upper limit for operation.

‡ K is the ratio of rated maximum voltage to the lower limit of the range of operating voltage in which the required symmetrical and asymmetrical interrupting capabilities vary in inverse proportion to the operating voltage.

§ To obtain the required symmetrical interrupting capability of a circuit breaker at an operating voltage between 1/K times rated maximum voltage and rated maximum voltage, the following formula shall be used:

$$\text{Required Symmetrical Interrupting Capability} = \text{Rated Short-circuit Current} \times \frac{(\text{Rated Max. Voltage})}{(\text{Operating Voltage})}$$

For operating voltages below 1/K times rated maximum voltage, the required symmetrical interrupting capability of the circuit breaker shall be equal to K times rated short-circuit current.

|| With the limitation stated in 04-4.5 of ANSI C37.04-1969, all values apply for polyphase and line-to-line faults. For single phase-to-ground faults, the specific conditions stated in 04-4.5.2.3 of ANSI C37.04-1969 apply.

¶ Current values in this column are not to be exceeded even for operating voltages below 1/K times rated maximum voltage. For voltages between rated maximum voltage and 1/K times rated maximum voltage, follow § above.

ANSI-C37.06 symmetrical rating basis is supplementary to ANSI-C37.6 (total current rating basis) and does not replace it. When a changeover from the total current basis of rating to the symmetrical basis of rating is effected the older standards will be withdrawn.

In accordance with ANSI-C37.06, users should confer with the manufacturer on the status of the various circuit breaker ratings.

Table 35-1—Power Circuit Breaker Characteristics (Total Current Rating Basis ASA C37.6—1964)

TYPE OF BREAKER	Voltage Ratings			Insulation Level		Current Ratings in Amperes			60 Cycle Interrupting Rating†			Rated Interrupting Time in Cycles (60 Cycle Basis)
	Rated Kv	Maximum Design Kv	Minimum Operating Kv at Rated Mva	Withstand Test		Continuous at 60 Cycles	Short Time		3-phase Rated Mva	In Rms Total Amperes		
				Low Frequency Rms Kv	Impulse Crest Kv		Momentary‡	4 second		At Rated Voltage§	Maximum Rating	
<b>OILLESS MAGNE-BLAST CIRCUIT BREAKERS WITH CO-15 SECOND-CO DUTY CYCLE</b>												
AM-4.16-75	4.16	4.76	3.5	19	60	1200	20000	12500	75	10500	12500	8
AM-4.16-250	4.16	4.76	3.85	19	60	1200 2000	60000	37500	250	35000	37500	8
AM-4.16-250B	4.16	4.76	3.85	19	60	1200 2000	80000	37500	250	35000	37500	8
AM-4.16-350	4.16	4.76	4.0	19	60	1200 3000	80000	50000	350	48600	50000	8
AM-7.2-500	7.2	8.25	6.6	36	95	1200 2000	70000	44000	500	40000	44000	8
AM-13.8-500	13.8	15.0	11.5	36	95	1200 2000	40000	25000	500	21000	25000	8
AM-13.8-500B	13.8	15.0	11.5	36	95	1200 2000	60000	25000	500	21000	25000	8
AM-13.8-750	13.8	15.0	11.5	36	95	1200 2000	60000	37500	750	31500	37500	8
AM-13.8-750B	13.8	15.0	11.5	36	95	1200 2000	80000	37500	750	31500	37500	8
AM-13.8-1000	13.8	15.0	11.5	36	95	1200 3000	80000	50000	1000	42000	50000	8

φ At lower voltages, the breaker interrupting ratings in mva will be reduced and may be calculated on the basis of using the system operating voltage and the listed "maximum" interrupting amperes.

§ The momentary current rating is the maximum rms total amperes which the breaker will carry safely for any period, however small, up to one second. In no case should a breaker be subject to currents in excess of the "momentary" ratings listed.

ψ Interrupting Ratings—In these tables are listed the rms total amperes which the breakers are rated to interrupt under the conditions imposed by two unit operations with a fifteen-second interval. Each unit operation consists of a closing of the circuit breaker followed immediately by its opening without purposely delayed action. In no case should a breaker be used to interrupt currents greater than the "maximum" interrupting ratings listed. For reclosing-application factors, refer to other pertinent publications.

\* To obtain the ampere interrupting rating of a breaker for use on a system having an operating voltage at less than rated nameplate kv (but not less than the listed "minimum operating" voltage) use the following formula:  
Amp at System Voltage = Amp at Rated

$$\text{Voltage} \times \frac{\text{Rated Voltage}}{\text{System Voltage}}$$

In figuring the interrupting ratings of breakers, the values should be "rounded off" to the nearest 100 ampere step. If the value so calculated exceeds that of the rated maximum interrupting current, then the latter rating must be used at the interrupting rating of the breaker.

θ Operating time in cycles (60-cycle base) from energizing trip coil until circuit is interrupted at 25 to 100 percent interrupting rating.

Table 36-1—Fusible Stationary Air-Interrupter Switch Equipment—Breakmaster

UNFUSED BREAKMASTER GENERAL RATINGS								
System Voltage (kV)	Nominal Voltage (kV)	Max. Design Voltage (kV)	60-cycle Withstand Voltage (kV)	BIL (kV)	Continuous Current Rating (Amperes)	Contact <sup>(2)</sup> Interrupting Rating (Amperes)	Momentary <sup>(*)</sup> Rating (Amperes)	Fault-Close <sup>(†)</sup> Rating (Amperes <sup>(*)</sup> )
2.4 4.16 4.8	4.8	5.5	19	60	600 1200	600 1200	40,000 60,000	40,000 60,000
6.9 7.2 12.0 13.2 13.8	13.8	15.5	36	95	600 1200	600 600	40,000 60,000	40,000 60,000

† Ten-cycle duration.

\* Applies to unfused switch units only. Values are expressed in rms total amperes as defined in NEMA and ASA standards.

† These ratings apply to breakmaster equipments with stored energy and electrically operated switches.

‡ Non-stored energy units have contact interrupting rating of 100 amperes at 15kV, 400 amperes at 5kV. These units do not have fault close ability. Key interlocking is recommended to prevent operation under load. Manual units do not meet ASA standards for lineup applications.

Table 36-2—BREAKMASTER Fault Interrupting Ratings with GE Type EJ Current-limiting Fuses\*

Fuse Type	System Nominal Voltage (kV)	Continuous Amperes Current Rating	60 Hertz Interrupting Rating X 1000	
			Amperes Asymmetrical †	MVA rms Symmetrical
EJO-1 EJ-1	2.4	0.5E-200E 250E-450	80 80	210 210
EJO-1 EJ-1	4.16	0.5E-200E 250E-450	80 80	360 360
EJO-1 EJ-1	4.8	0.5E-200E 250E-450	80 80	415 415
EJO-1 EJO-1	6.9 7.2	0.5E-200E 0.5E-200	80 80	600 620
EJO-1 EJO-1 EJ-1 EJ-1	12	0.5E-3E 5E-10E 15E-100E 125-175	190 130 60 50	2470 1690 780 650
EJO-1 EJO-1 EJ-1 EJ-1	13.2	0.5E-3E 5E-10E 15E-100E 125-175	190 130 60 50	2700 1860 860 715
EJO-1 EJO-1 EJ-1 EJ-1	13.8	0.5E-3E 5E-10E 15E-100E 125-175	190 130 60 50	2840 1940 900 750

\*Interrupting ratings of fuse in amperes must be equal to or greater than the maximum total momentary amperes available at fuse location.

†These asymmetrical ratings are 1.6 times the maximum (or first cycle) symmetrical values of available current that the fuse shall be required to interrupt.

Table 36-3

BREAKMASTER FAULT INTERRUPTING RATINGS — WITH EXPULSION-TYPE POWER FUSES			
Nominal System Voltage kV	Continuous Current Rating Amperes	Maximum* 60 Cycle Interrupting Capacity	
		**kA	***MVA
2.4		40	104
4.16		40	180
4.8		40	208
6.9	5E-400E*	40	300
7.2	all ratings	40	310
12.0		34	441
13.2		34	486
13.8		34	507

\* Ratings shown are for SM-5C fuses and are maximum interrupting ratings available. Actual fuses furnished will be either Type SM-4 or SM-5 depending on system requirements. Specify fuse required with order.

\*\* These asymmetrical interrupting ratings are 1.6 times the maximum (or first cycle) symmetrical values of available current that the fuse shall be required to interrupt.

\*\*\* rms symmetrical.



**Table 37—Metal-enclosed Load-Interrupter Switch Rollout—Type SEM**

EQUIPMENT TYPE	VOLTAGE WITHSTAND TEST			FUSED-SWITCH EQUIPMENT; ‡			UNFUSED-SWITCH EQUIPMENTS; §		
	SYSTEM VOLTAGE kV (Line to Line)	Low Freq. rms kV	Impulse Crest kV 1.5 x 40 MS Wave	Current Ratings—Amperes		3-phase Interrupting Rating MVA *ϕ	Current Ratings—Amperes		
				Continuous	Maximum Momentary and Interrupting *†		Continuous	Maximum Interrupting	Momentary θ
SEM-26	2.4	15	45	§	60000	150	600	800	40000
	4.16	19	60		60000	250	600	600	40000
	4.8	19	60		60000	250	600	600	40000
SEM-36	6.9	26	75	§	60000	250	600	600	40000
	7.2	26	75		60000	250	600	600	40000
	12.0	36	95		50000	500	600	600	40000
	13.2	36	95		50000	500	600	600	40000
	13.8	36	95		50000	500	600	600	40000
						50000	500	600	600

‡ Bus is rated 600 amperes continuous current when included in group-assembled units.

§ The continuous-current ability of the equipment is dependent on the continuous-current rating of the fuse selected.

\* The interrupting ratings of fused-switch equipments sometimes must be lowered if the installations include source-side lightning arresters of a rated voltage lower than fuse rated voltage.

† These values are the maximum available asymmetrical first-half-cycle rms short-circuit currents at the point in the a-c system where the equipment is to be installed. These values are in every case reduced by the current-limiting action of the fuses to a maximum asymmetrical first-half-cycle rms let-through current value of 40,000 amperes or less. The load-break switch interrupting rating is the same as for the unfused-switch equipment listed under Maximum Interrupting and Momentary Current Rating.

θ The momentary rating of the unfused-switch equipment also includes the maximum current, expressed in asymmetrical first-half-cycle rms amperes, against which the switch can be closed successfully.

\* Only General Electric current-limiting power fuses are furnished with these equipments.

Table 38—Summary of Ratings of Current-Limiting Power Fuses, Types EJ-1 and EJO-1

Voltage Ratings LV <sup>Δ</sup>		Continuous Current Ratings (Amperes)†		Interrupting Ratings 60 Hertz*	
Nominal	Max	EJ-1 (Indoor)	EJO-1 (Outdoor)	Total Rms Amp (Asym)	Max 3 $\phi$ MVA (Sym)†
0.6	0.625	3E-10E	—	100,000	—
2.4	2.75	1E-200E	—	60,000	55
2.4	2.75	—	1E-200E	80,000	710
2.4/4.16	2.75/4.76	250E-430	—	80,000	210 180
4.8	5.5	—	0.5E-10E	80,000	415
4.8	5.5	—	15E-200E	80,000	415
4.8	5.5	0.5E-10E	—	100,000	515
4.8	5.5	15E-25E	—	100,000	515
4.8	5.5	0.5E-3E	—	80,000	410
7.2	8.25	—	0.5E-10E	80,000	620
7.2	8.25	—	15E-200E	80,000	620
14.4	15.5	0.5E-3E	—	190,000	2950
14.4	15.5	—	0.5E-3E	130,000	2070
14.4	15.5	—	5E-10E	60,000	955
14.4	15.0	125	15E-100E	60,000	925
14.4	15.0	130-175	—	50,000	700
23.0	25.8	—	0.5E-10E	70,000	1740
23.0	25.8	—	15E-100E	40,000	1090
34.5	38.0	—	0.5E-10E	70,000	2600
34.5	38.0	—	15E-80E	20,000	750

<sup>Δ</sup> May be applied at 50 hertz without derating. For frequency less than 50 hertz, consult the company.

\* The line-to-line circuit operating voltage should be between 100 percent and 70 percent of the fuse-unit voltage rating. Exceptions: Fuse units rated 600 volts may be applied on circuits rated 220 to 600 volts. High current fuse units rated 2400/4160 volts may be used at either voltage.

† All current ratings are the continuous 100 percent ratings, in accordance with NEMA Standards.

1. "E" rated fuses conform to NEMA Standards.
2. Continuous ratings without the "E" are 100 percent ratings. However, these fuses may not necessarily meet other NEMA requirements such as a 65-degree rise on the ferrule. All material in Type EJ fuses is capable of withstanding the temperatures encountered.

‡ These asymmetrical current values for fuses correspond to momentary current ratings for power circuit breakers. Note, however, that the system duty calculated for the purpose of selecting current-limiting power fuses is 1.6 times the calculated symmetrical value of available current during the first cycle.

† The three-phase mva interrupting ability for power fuses is based on the maximum symmetrical value of available rms amperes to which a set of fuses shall be subjected in interrupting a three-phase short circuit. The values in these columns are derived as follows:

Three-phase mva =

$$\sqrt{3} \left( \frac{\text{fuse rated kv}}{1000} \right) \left( \frac{\text{fuse rated interrupting amp}}{1.6} \right)$$

⊖ Potential transformer fuses.

Notes: When lightning arresters are required in the same circuit as current limiting fuses:

1. Use distribution arresters (Form 28 or magne-valve), or full rated station or intermediate arresters on either the source or the load side of the fuse.
2. Use reduced rated station or intermediate arresters on load side of fuse only.
3. If reduced rated station or intermediate arresters are required on the source side of the fuse, refer to company for recommendations.

Table 39—Reclosers—Type OR

Ratings—Application Table							Ampere Capacity								
							1120								
							560								
Continuous current rating (amperes)							50	100	140	200	280	400	560	800	1120
Pickup (amperes)							100	200	280	400	560	800	1120	1600	2240
Model No.	Nominal Voltage (kV) rms	Max Design Voltage (kV) rms	60-cycle Withstand (kV)		Ampere Capacity rms	Operating Voltage (kV) rms	Interrupting Ratings—rms Symmetrical Amp*								
			Dry, One Min	Wet 10 Sec			3000	6000	8400	12000	12000	12000	12000	12000	12000
OR-A OR-B					560 1120	2.4 thru 4.8	3000 3000	6000 6000	8400 8400	12000 12000	12000 16000	12000 16000	12000 16000	12000 16000	12000 16000
OR- OR-	14.4	15.5	50.0	45.0	560 1120	Above 4.8 thru 8.32	3000 3000	6000 6000	8400 8400	10000 12000	10000 16000	10000 16000	10000 16000	10000 16000	10000 16000
OR-A OR-B					560 1120	Above 8.32 thru 15.5	3000 3000	6000 6000	8000 8400	8000 12000	8000 16000	8000 16000	8000 16000	8000 16000	8000 16000
OR-F OR-F	23 (also 14.4 24.9)	25.8	60.0	50.0	1120 1120	2.4 thru 15.5 Above 15.5 thru 25.8	3000 3000	6000 6000	8400 8000	12000 8000	16000 8000	16000 8000	16000 8000	16000 8000	16000 8000

Phase Tripping (Total Clearing Time-current) Vector Curves (See General Electric Apparatus Handbook Section 7033)

Resetting Time (Seconds)	30	60	120	180	240
First Interval	1.3	2	5	10	15
Second Interval	...	2	5	10	15
Third Interval	...	2	5	10	15

Tripping Sequence  
Any combination of instantaneous or time delay; however, do not exceed a total of four. For example: one time delay, one instantaneous, and two time delay.

\* Interrupting ratings are based on circuit X, R ratio of 14.

Table 40—Power Circuit Breakers—Type FKD

Rating and Technical Information (Reclosing-time Rating—20 cycles)														
Symmetrical Basis of Rating														
Breaker Type	Rated Values								Related Required Capabilities					
	Nominal Voltage kV, rms	Nominal 3-Phase MVA	Voltage		Insulation Level		Continuous Current at 60 Cycles Amp, rms	Interrupting Rating Symmetrical Amps, rms	Interrupting Time Cycles	Permissible Tripping Delay, 7 Sec	Maximum Voltage Divided by K, kV, rms	Current Values		
			Maximum Voltage kV, rms	Voltage Range Factor, K	Rated Withstand Test Voltage	Low Frequency kV, rms						Impulse kV, Crest	Maximum Symmetrical Interrupting Capability kA, rms	3 Sec Short-Time Current Carrying Capability kA, rms
FKD-14-250	14.4	250	15.5	2.67	50	110	600	8900	5	2	5.8	24	24	38
FKD-14.4-500	14.4	500	15.5	1.29	50	110	1200	18000	5	2	12	23	23	37
FKD-23-500	23	500	25.8	2.15	60	150	1200	11000	5	2	12	24	24	38

Table 41—Vacuum Reclosers—Type VIR

Ratings—Application Table								Ampere Capacity						
								560						
								400						
Continuous current rating (amperes)								50	100	140	200	260	400	560
Pickup (amperes)								100	200	280	400	560	800	1100
Recloser Type	Nominal Voltage (kV) rms	Max Design Voltage (kV) rms	Ampere Capacity rms	60-cycle Withstand (kV)		Impulse Withstand (kV)	Operating Voltage (kV) rms	Interrupting Ratings—rms Symmetrical Amperes*						
				Dry, One Min	Wet, 10 Sec			3000	3000	4000	4000	4000	4000	
VR	14.4	15.5	400	50.0	45.0	110.0	2.4 through 15.5	3000	3000	4000	4000	4000	4000	
VIR	14.4	15.5	560	50.0	45.0	110.0	2.4 through 4.8	3000	6000	8400	12000	12000	12000	
							Above 4.8 through 15.5	3000	6000	8400	10000	10000	10000	10000
Phase Tripping (Total Clearing Time-current) Vector Curves (See General Electric Apparatus Handbook Section 7034)														
Reclosing Time (Seconds)														
First Interval	1/3	2	5	10	15	20	30	45	60	75	90	120	150	
Second Interval	1/3	2	5	10	15	20	30	45	60	75	90	120	150	
Third Interval	1/3	2	5	10	15	20	30	45	60	75	90	120	150	
Resetting Time (Seconds)														
30			60			120			180			240		
Tripping Sequence														
Any combination of instantaneous or time delay; however, do not exceed a total of four. For example, one time delay, one instantaneous, and two time delay.														

\* Interrupting ratings of 400-ampere capacity recloser are based on circuit X/R ratio of 12 and 560-ampere capacity recloser on circuit X/R ratio of 14.

Table 42—Vacuum Breakers—Type VIB

Table 42-1—Application

System Kv	Interrupting Rating CO-15-CO Duty Cycle	Capacitor Bank Ratings§
	Symmetrical MVA†	Kvars
2.4	50	1800
4.16	86	3150
4.8	100	3600
7.2	150	5400
12	250	9150
12.5	260	9600
13.2	275	10200
13.8	285	10650
14.4	300	11100

Table 42-2—Ratings

Breaker Type	Rating			Interrupting Rating 2.4 to 15.5 kV Symmetrical Amperes‡	Interrupting Time 60 Cycle Cycles	Withstand Test kV		Momentum Amps per Sec
	Nominal Voltage kV-rms	Max Design Voltage kV-rms	Continuous Amp at 60 Cyc-rms			60 Cycle Impulse (Dry)	Impulse (Wet)	
VIB	14.4	15.5	600	12000	2	50	110	19200

§ Single bank switching, or back-to-back switching with switched bank not to exceed listed rating provided that high-frequency inrush current does not exceed 40,000 amperes peak from the bank rating is listed.

‡ The breaker is rated on a symmetrical basis and is capable of interrupting any asymmetrical current associated with the symmetrical rating with an X/R ratio of 17. (15,600 ampere total short-circuit current based on 1-cycle opening time and 1/2-cycle relay time.)

Table 43—Panelboard Motor-control Unit Short-circuit Rating

The short circuit rating of a panelboard is the interrupting rating of the lowest rated device.

The interrupting rating of individual devices, fusible switches with fuses, molded case circuit breakers, etc. is not altered when the device is mounted in a panelboard. Bus bars are braced to withstand forces exerted by the let-through currents. Ratings are based on circuit power factors corresponding to those used to rate devices.

Type of Disconnect	Symmetrical Amps
TQC (TEC, TED4 or TED6) Frame Breaker	14,000
TFJ Frame Breaker	18,000
Fusible Switches	
a—With Standard One-time or Time-delay Fuses	22,000
b—With GE Type CLF B or Equal Current-limiting Fuses	42,000

Ⓢ Provided the fuses selected have an interrupting rating equal to this amount.

**Table 44—Switchboards, Type AV and POWER BREAK—600 Volts Ac Maximum**

Switchboard bus bars are braced for 50,000 symmetrical rms amperes as standard. 100,000 and 150,000 ampere bracing is available.

The interrupting rating of individual devices, fusible switches, circuit breakers, etc. is not altered when the device is placed in a switchboard. Refer to appropriate tables for ratings. Ratings are assigned in accordance with NEMA standard PB-2.

**Table 45—Switchgear, Type AKD-5—600 Volts Ac—Maximum.**

Switchgear Bus bars are braced in accordance with following. Bracing for 200,000 rms symmetrical amperes is available.

Continuous Current Rating Bus Bars, Amperes	Bus-bar Bracing Symmetrical rms Amperes
1,000 or less	65,000
2,000	65,000
2,500	85,000
3,000	85,000
4,000	130,000

Equipment should not be connected to available short-circuit current in excess of lowest rated device. See Tables 22, 23 for device ratings.

**Table 47—Safety Switches**

Switch type	Fuse Class	Ampere Rating	UL Listed Interrupting Rating Symmetrical rms Amperes
TH—Heavy Duty	H	30-600	10,000
	L	800-1200	100,000
	J	30-600	200,000
	R	30-600	200,000
IG—General Duty	H	30-600	10,000
IC	H	30-60	10,000

## Automatic Transfer Switches

**Table 46-1—External Fuse (Non-automatic Circuit Breaker Type)**

Ampere Rating	Fuse		3-phase Interrupting Rating Symmetrical rms Amperes
	Type	Max. Amp Rating	
100	H	125	5,000 100,000
	J, K1, R	125	
225	H	500	10,000 100,000
	J, K1, R	500	
400	H	600	15,000 100,000
	L	800	
600	L	1200	100,000
800	L	1400	100,000
1200	L	1500	100,000

**Table 46-2—Automatic Circuit Breaker Type Transfer Switches**

Circuit Breaker Rating	Circuit Breaker Type	3-phase Interrupting Rating Symmetrical rms Amperes	
		240V	480V
100	TED	18,000	14,000
225	TFK	25,000	22,000
400	TJK4	42,000	30,000
600	TJK6	42,000	30,000
800	TKMAB	42,000	30,000
1200	TKMA12	42,000	30,000

## Part IV—Analytical Techniques

Simplification in the calculation of short-circuit currents is obtained for various configurations of power systems by the use of the per-unit system, complex numbers, and other practices as well—some of which are described below.

### PER-UNIT SYSTEM

A per-unit system is a means of expressing numbers for ease in comparing them.

A per-unit value is a ratio:

$$\text{Per-unit} = \frac{\text{A Number}}{\text{Base Number}}$$

The base number is also called unit value since in the per-unit system it has a value of one or unity. Thus, base voltage is also called unit voltage.

We may select any convenient number for the base number. For example, for the columns below, a base of 560 is used:

Number	Per-unit Value with 560 as a Base
95	0.17
123	0.22
560	1.00
2053	3.66

Each number in the second column is a per-unit part of the base number. In the first column, in order to compare the numbers, we must first mentally determine the ratio of one to the other. In the second column this is already accomplished for us.

We can aid the comparison by selection of the base number which will illustrate the comparison best. In the above example, if we wanted to show how much larger each number is when compared with the smallest number, we might have selected 95 as our base.

We would then obtain:

Number	Per-unit Value with 95 as a Base
95	1.00
123	1.30
560	5.90
2053	21.60

Per-unit Value with 560 as a Base

The value of a per-unit system is particularly useful when we want to compare numbers that are similarly related to two different base numbers. For example:

	Case A	Case B
Normal volts	2300	460
Volts during motor starting	2020	420

The above figures in themselves have little significance until we mentally compare each with its normal condition as follows:

Volts during starting	per-unit of normal
2020	0.88
420	0.91

### PERCENT VALUES

Obviously percent and per-unit systems are similar. The percent system is obtained by multiplying the per-unit value arbitrarily by 100 in order to keep many frequently used per-unit values expressed as whole integers. By definition—

$$\text{Percent} = \frac{\text{A number}}{\text{Base number}} \times 100$$

Thus to change percent to per-unit we divide by 100. For example, a trans-

former which has an impedance of six percent has an impedance of 0.06 per unit.

The percent system is somewhat more difficult to work with and more subject to possible error since we must always remember that the numbers have been arbitrarily multiplied by 100. For a simple example, money may draw interest at the rate of four percent per year. We learned in our early arithmetic to determine the interest by multiplying the principal by 0.04. We thus had to remember to convert to the per-unit value before using the figure. In a complex calculation this repeated conversion may invite errors. In effect it is safer and more convenient to say that interest is at the rate of 0.04 per unit.

Impedances of electric apparatus are usually given in percent. It is usually convenient to convert these figures immediately to per unit by dividing by 100 and thereafter do all calculating in terms of per unit rather than attempt to remember always during the calculations whether a number should or should not be multiplied or divided by 100 to obtain the true value.

**BASE-VALUE RELATIONS**

In a per-unit system as used for expressing electrical quantities of voltage, current, and impedance, we may arbitrarily select numbers for the following:

- Base Volts
- Base Amperes

Then we may not in addition arbitrarily select base ohms since it has already been fixed by the first two selections because of Ohm's Law:

$$Z = \frac{E}{I}, \text{ or}$$

$$\text{Base Ohms} = \frac{\text{Base Volts}}{\text{Base Amps}}$$

Using our selected base values, we may express all parts of an electric circuit or system in per-unit terms as follows:

$$\text{Per-unit Volts} = \frac{\text{Volts}}{\text{Base Volts}}$$

$$\text{Per-unit Amps} = \frac{\text{Amps}}{\text{Base Amps}}$$

$$\text{Per-unit Ohms} = \frac{\text{Ohms}}{\text{Base Ohms}}$$

In practice we find it more convenient to select:

- Base Volts
- Base Kva

The base values of other quantities are

thus automatically fixed. Hence, for a single-phase system:

$$\text{Base Amps} = \frac{\text{Base kva} \times 1000}{\text{Base Volts}}$$

$$\text{Base Ohms} = \frac{\text{Base Volts}}{\text{Base Amps}}$$

Similarly, for a three-phase system:

$$\text{Base Amps} = \frac{\text{Base kva} \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{Base Volts}}$$

$$\text{Base Ohms} = \frac{\text{Base Volts}}{\sqrt{3} \times \text{Base Amps}}$$

Where Base kva is three-phase kva

Base Volts is line-to-line

Base Ohms is line-to-neutral.

**PER-UNIT OHMS**

In practice it is convenient to convert directly from ohms to per-unit ohms, without first determining base ohms according to the following easily derived expression:

$$\text{Per-unit Ohms} = \frac{\text{Ohms} \times \text{Base kva}}{(\text{Base kv})^2 \times 1000}$$

The expression above is valid for single-phase circuits where

Base kva is a single-phase value,

Base kv is a line-to-line value.

The same expression is valid for three-phase circuits where

Ohms are line-to-neutral,

Base kva is a three-phase value,

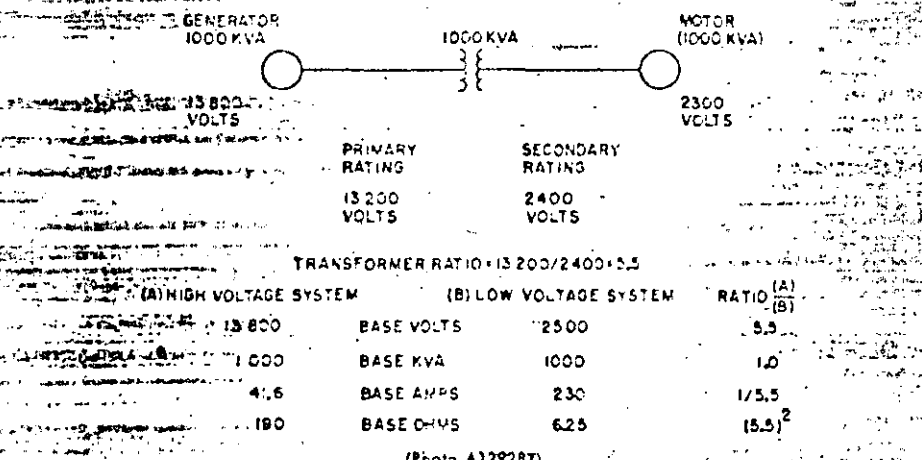
transformers in the system, or a convenient round number such as 1000 or 10,000 or 100,000 kva.

Where two systems of differing voltage are interconnected through a transformer, we may select a common kva base for both systems and the rated voltage of each system as its own base voltage. (These base voltages must have the same ratio to each other as the turns ratio of the transformer connecting the two systems.) Base ohms and base amps for the two systems will thus be correspondingly different. Fig. 27 shows a typical example.

Once the system values are expressed as per-unit values we may treat the two interconnected systems as a single system and carry out any calculations necessary. Only in reconverting the per-unit values of the results to actual voltage and current values do we need to remember that two different voltages actually existed in the system.

**CHANGE TO A NEW BASE**

Frequently the impedance of a circuit element expressed in terms of a particular base kva must be expressed in terms of a different base kva. For example, suppose a 500-kva transformer having 0.05 pu reactance and a 1000-kva transformer having 0.06 pu



(Photo A129287)

Fig. 27

**PREFERRED BASE VALUES**

In system studies, base voltage is usually selected as the nominal system voltage, or the voltage rating of the generators and supply transformers. Base kva will usually be selected as the kva rating of one of the machines or

reactance (both expressed on their rated kva as a base) are used in the same system. If calculations are to be made from an impedance diagram including both of those transformers they must be converted to a common kva base.

Inasmuch as per-unit ohms is directly proportional to base kva,

$$\frac{\left(\frac{\text{Per-unit ohms on}}{\text{new base kva}}\right)}{\left(\frac{\text{Per-unit ohms on}}{\text{old base kva}}\right)} = \frac{\text{New base kva}}{\text{Old base kva}}$$

and  
Per-unit ohms on new base =

$$\left(\frac{\text{Per-unit ohms}}{\text{on old base}}\right) \times \frac{\text{New base kva}}{\text{Old base kva}}$$

Likewise a machine rated at one voltage may actually be used in a circuit at a different voltage. If this latter voltage is selected as the base voltage, the per-unit impedance of the machine must then be changed to the new base voltage.

Inasmuch as per-unit ohms is inversely proportional to the square of base volts,

$$\frac{\left(\frac{\text{Per-unit ohms on}}{\text{new base volts}}\right)}{\left(\frac{\text{Per-unit ohms on}}{\text{old base volts}}\right)} = \frac{(\text{old base volts})^2}{(\text{new base volts})^2}$$

and  
Per-unit ohms on new base volts =

$$\left(\frac{\text{Per-unit ohms on}}{\text{old base volts}}\right) \times \frac{(\text{old base volts})^2}{(\text{new base volts})^2}$$

## MANIPULATION OF COMPLEX QUANTITIES IN RECTANGULAR FORM

The rectangular form of complex quantities is the most widely used, although it does not lead to the simplest computations in all types of problems. A generalized notation in the rectangular form is  $-A = jB$  where  $j = \sqrt{-1}$ . The basic quantities in most electrical problems are vector voltages such as  $E = E_1 + jE_2$ , vector currents such as  $I = I_1 + jI_2$ , and impedance operators such as  $Z = R - jX$ .

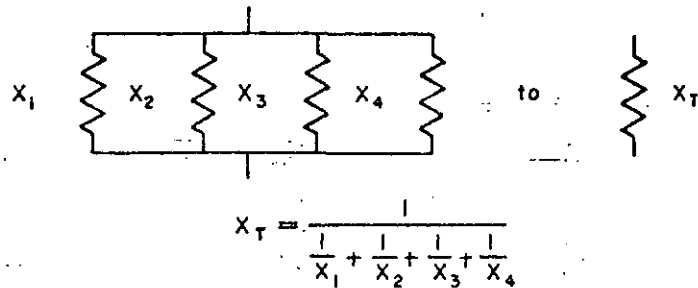
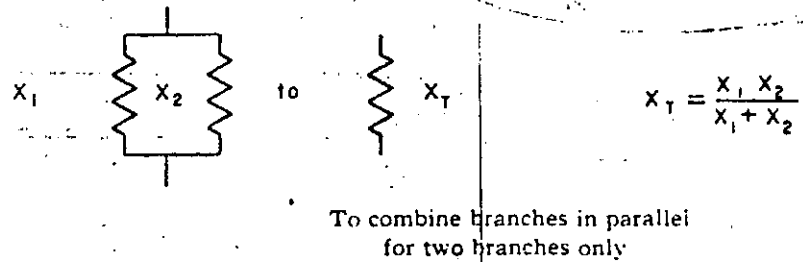
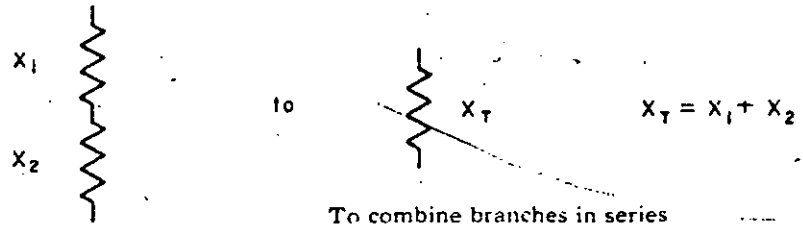
A very common type of problem requires long-hand resolution of a more-or-less complicated network of impedances into a single impedance quantity.

Whenever several impedances appear in the same example, they will have the following identifying notation:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 - jX_1 \\ Z_2 &= R_2 - jX_2 \\ Z_3 &= R_3 - jX_3 \end{aligned}$$

The real part of a complex quantity will often be so small compared to the quadrature part that it can be ignored with little effect on a computed result. In such cases, resolved expressions and computation can be greatly simplified. Some of the examples to follow will include special cases of this type to indicate the extent of simplification.

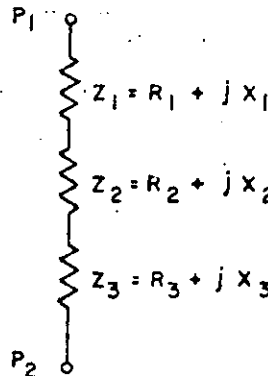
## Methods for Combining Reactances



## Sums (or Differences)

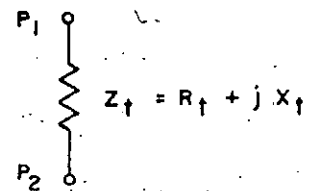
The sum of complex quantities is obtained by adding the real parts together to get the total real part, and adding the quadrature parts together to get the total quadrature part.

For example, the sum total impedance of series-connected impedances  $Z_1$ ,  $Z_2$ , and  $Z_3$  is determined by addition as follows:



$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 - jX_1 \\ Z_2 &= R_2 + jX_2 \\ Z_3 &= R_3 + jX_3 \\ \hline Z_T &= R_1 + R_2 + R_3 - j(X_1 - X_2 + X_3) \\ &= R_T - jX_T \end{aligned}$$

The resulting equivalent diagram is:



Subtraction is accomplished as in algebra by first reversing all signs in the subtrahend, and then adding.

## Products

Multiplication follows the fundamental rules of multiplying binomials. For example, the product:

$$\begin{aligned} Z_1 Z_2 &= (R_1 - jX_1)(R_2 - jX_2) \\ &= (R_1 R_2 - X_1 X_2 - j(R_1 X_2 - R_2 X_1)) \\ &= R_{eq} - jX_{eq} \end{aligned}$$

Special case where Resistance = 0:

$$\begin{aligned} Z_1 Z_2 &= -jX_1(-jX_2) \\ &= -X_1 X_2 \end{aligned}$$

### Quotients

To resolve an expressed quotient requires applying the rationalization process just described. The resolution is repeated on the next page with respect to two impedances:

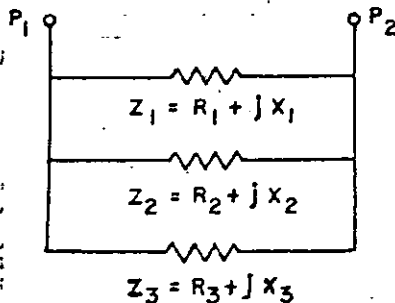
$$\begin{aligned} \frac{Z_1}{Z_2} &= \frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} \\ &= \frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} \cdot \frac{(R_2 - jX_2)}{(R_2 - jX_2)} \\ &= \frac{(R_1 R_2 + X_1 X_2) + j(R_2 X_1 - R_1 X_2)}{R_2^2 + X_2^2} \\ &= \left( \frac{R_1 R_2 + X_1 X_2}{R_2^2 + X_2^2} \right) + j \left( \frac{R_2 X_1 - R_1 X_2}{R_2^2 + X_2^2} \right) \\ &= R_{eq} + jX_{eq} \end{aligned}$$

Special case where Resistance = 0:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{+jX_1}{+jX_2} = \frac{X_1}{X_2}$$

### Paralleled Impedances

To evaluate a multiplicity of impedances in parallel: (1) determine the admittance (1/Z) of each branch; (2) add the admittances of the several branches; and (3) convert the sum total admittance to an impedance by taking the reciprocal. This process is illustrated by the following example:



The resolution process is readily guided in routine work by the tabular form shown as TABLE 1, in which the parts of the several complex impedances are entered and manipulated as indicated.

Note that a plus sign is proper in all five columns, if the branch impedance is of the more common inductive character ( $R + jX$ ). If any reactance is capacitive ( $-jX$ ), the entry in the corresponding "B" column should be assigned a minus sign. In the rare event that a negative resistance ( $-R$ ) is encountered, the entry in the corresponding "G" column should be assigned a minus sign.

**TABLE 1—Form for Converting Parallel Impedances to Single Admittance**

	Impedances		Admittances	
	R	X	$G = R/Z^2$	$B = X/Z^2$
Branch 1	( )	( )	( )	( )
Branch 2	( )	( )	( )	( )
Branch 3	( )	( )	( )	( )
			$G_t$	$B_t$

The tabulation process yields a total admittance  $Y_t = G_t - jB_t$ , and  $Y_t^2 = G_t^2 + B_t^2$ . Then the resulting impedance  $P_1$  to  $P_2$  becomes:

$$Z_{eq} = \frac{1}{Y_t} = \frac{G_t}{Y_t^2} + j \frac{B_t}{Y_t^2}$$

Special case where Resistance = 0:

$$Z_{eq} = +j \left( \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}} \right)$$

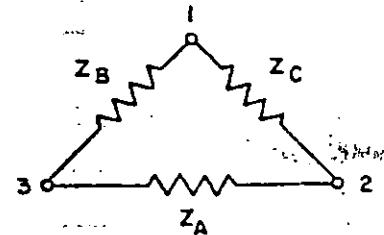
or for two reactances only, rearrangement yields the following valid expression:

$$Z_{eq} = +j \left( \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2} \right)$$

### DELTA-Y AND Y-DELTA IMPEDANCE CONVERSIONS

In a three-terminal three-branch network limited to fixed-frequency operation, a delta impedance pattern can be converted to a Y pattern and vice versa. These can be very useful tools in the long-hand solution of network problems.

The diagrams here provide notation for internal impedances which are to be related in conversion formulas so that the two diagrams are equivalent when viewed from their terminals.

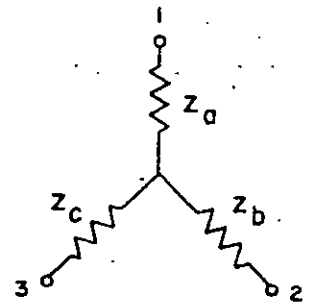


**Case 1: With delta-connected impedances  $Z_A$ ,  $Z_B$ , and  $Z_C$  known,**

$$Z_A = \frac{Z_B Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$$

$$Z_B = \frac{Z_C Z_A}{Z_A + Z_B + Z_C}$$

$$Z_C = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$$



**Case 2: With Y-connected impedances  $Z_A$ ,  $Z_B$ , and  $Z_C$  known,**

$$Z_A = Z_B + Z_C + \frac{Z_B Z_C}{Z_A}$$

$$Z_B = Z_A + Z_C + \frac{Z_A Z_C}{Z_B}$$

$$Z_C = Z_A + Z_B + \frac{Z_A Z_B}{Z_C}$$





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 9: PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE

ING. ANDRES D. CHAVEZ SANUDO

MAYO, 1985

## 5.1 OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

- LAS FUNCIONES BASICAS DE UN SISTEMA DE PROTECCION Y DE LA COORDINACION SON:

- + PREVENIR DAÑO A VIDAS Y PROPIEDADES.
- + REDUCIR DAÑOS AL SISTEMA Y SUS COMPONENTES.
- + LIMITAR EL CRECIMIENTO Y LA DURACION DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO CUANDO UNA ANORMALIDAD SE PRESENTA EN EL SISTEMA.

- LAS ANORMALIDADES PUEDEN DEBERSE:

- + FALLA DE EQUIPO
- + ERROR HUMANO
- + EMERGENCIAS DE ORIGEN HUMANO O NATURAL.

- ESTAS ANORMALIDADES SON IMPREDECIBLES Y EL SISTEMA ELECTRICO DEBE DISEÑARSE Y MANTENERSE PARA PROTEGERSE A SI MISMO AUTOMATICAMENTE.

- AUNQUE EL GRADO DE PROTECCION DE UN SISTEMA PUEDE SER INFLUENCIADO POR CONSIDERACIONES ECONOMICAS, TODO SISTEMA DEBE SATISFACER CIERTOS REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD.

~~NO SE PUEDE TENER, POR IMPRACTICO O ANTIECONOMICO, UN SISTEMA CONTRA TODO TIPO DE FALLA.~~ PUEDEN CUIDARSE ASPECTOS COMO SELECCION DE BUENOS AISLAMIENTOS, DISTANCIAS, PERO DEBE ACEPTARSE UN CIERTO NUMERO DE FALLAS, YA QUE AUN EL MEJOR SISTEMA SE DETERIORARA CON LOS AÑOS Y LA PROBABILIDAD DE FALLA AUMENTA CON EL TIEMPO.

5.2 CONCEPTOS BASICOS DE LA PROTECCION DE CORRIENTE.

- LA PROTECCION DE CORRIENTE INCLUYE:
  - + PROTECCION CONTRA SOBRECARGA.
  - + PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE DEBIDA A CORTOS CIRCUITOS.

- SOBRECARGAS. CORRIENTES ORIGINADAS PRINCIPALMENTE EN LOS MOTORES Y VARIAN DESDE EL VALOR DE PLENA CARGA HASTA EL VALOR DE ESTAR BLOQUEADO.

LA CAUSA PUEDE SER UN MAL MONTAJE O UNA INCORRECTA ALINEACION DE LOS MOTORES, O UNA INCORRECTA OPERACION DEL EQUIPO OPERADO POR LOS MOTORES, TAL COMO ARRANQUES DEMASIADO FRECUENTES, VENTILACION OBSTRUIDA O EXTENSOS PERIODOS DE ACELERACION.

LOS CIRCUITOS TAMBIEN PUEDEN SER SOBRECARGADOS SIMPLEMENTE AGREGANDO EQUIPO DE UTILIZACION MAS GRANDE O ADICIONAL A LO PROYECTADO.

- SOBRECORRIENTES POR CORTO CIRCUITO.

SON USUALMENTE DEL ORDEN DE 10 VECES LA CORRIENTE NOMINAL O MAYORES, AUNQUE LA EXCEPCION PUEDE SER LAS CORRIENTES DE FALLA A TIERRA, LIMITADA POR LA IMPEDANCIA DE ARCO O DE LA TRAYECTORIA DE RETORNO A TIERRA.

LOS CORTOS PUEDEN OCURRIR COMO FALLAS DE AISLAMIENTOS EN GENERAL Y EN PARTICULAR DEBIDAS A EXCESIVA HUMEDAD, SOBRECARGA DE UN CIRCUITO O DAÑOS MECANICOS A CONDUCTORES O A EQUIPO ELECTRICO.

- UNA VEZ CONOCIDOS LOS VALORES DE CORTO CIRCUITO EN EL SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL BAJO ESTUDIO, LA SECUENCIA DE LA PROTECCION ES LA SIGUIENTE:

+ SELECCIONE LAS CAPACIDADES DE CORRIENTE NOMINAL Y DE CORTO CIRCUITO DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA:

\* INTERRUPTORES M.T. Y B.T.

\* TABLEROS M.T. Y B.T.

+ APLIQUE EL EQUIPO DE PROTECCION CORRESPONDIENTE.

+ HAGA LOS AJUSTES NECESARIOS EN LOS EQUIPOS Y EL ESTUDIO DE COORDINACION CORRESPONDIENTE.

- CUANDO SE PRESENTE UNA FALLA, SE DEBE REMOVER LA PORCION QUE FALLO SIN DEJAR DE ALIMENTAR A OTRAS AREAS DEL SISTEMA. ESTO ES SELECTIVIDAD.

- POR LO ANTERIOR, DEBE DE OPERAR EL ELEMENTO MAS CERCANO A LA FALLA. SI ESTE ELEMENTO NO OPERA EN SU ZONA (PRIMARIA) DEBE ACTUAR LUEGO OTRO ELEMENTO EN SERIE CON EL, ACTUANDO COMO RESPALDO. ESTO ES COORDINACION.

- AL OCURRIR UNA FALLA, LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO CIRCULAN POR UNA SERIE DE ELEMENTOS, QUE ESTARAN SUJETOS A ESFUERZOS TERMICOS, MECANICOS Y MAGNETICOS.

- TODOS LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA TIENEN SUS LIMITES DE CORRIENTE. LA PROTECCION NO DEBE SOBREPASAR ESTOS LIMITES.

- LOS ELEMENTOS CUYOS LIMITES SE ANALIZARAN AQUI, SON:

+ TRANSFORMADORES.

+ CONDUCTORES.

+ MOTORES.

+ TABLEROS Y BARRAS COLECTORAS.

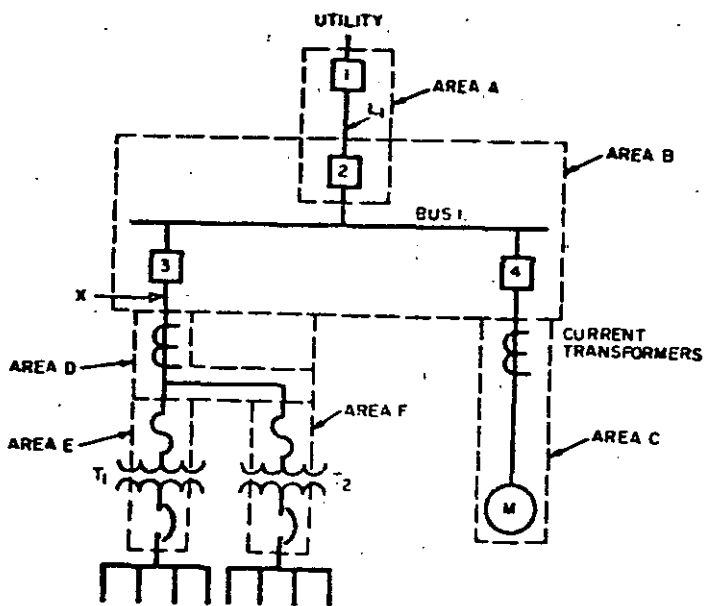


Fig 33  
One-Line Diagram Illustrating Zones of Protection

- LOS APARATOS DE DETECCIÓN DE FALLAS QUE SE TRATARAN SON:

+ FUSIBLES EN M.T.

+ RELES DE SOBRECORRIENTE, 50/51.

(ACTUAN SOBRE INTERRUPTORES EN M.T. Y B.T.)

+ FUSIBLES EN B.T.

+ RELES INTEGRADOS A INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS O DE CAJA MOLDEADA.

+ INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

+ RELES TERMICOS DE SOBRECARGA.

### 5.3 EQUIPO DE PROTECCION.

#### 5.3.1 FUSIBLES.

- FUSIBLES EN MEDIA TENSION.

- EXISTEN DOS TIPOS PRINCIPALES:

+ FUSIBLES DE POTENCIA LIMITADORES DE CORRIENTE.

+ FUSIBLES TIPO EXPULSION.

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

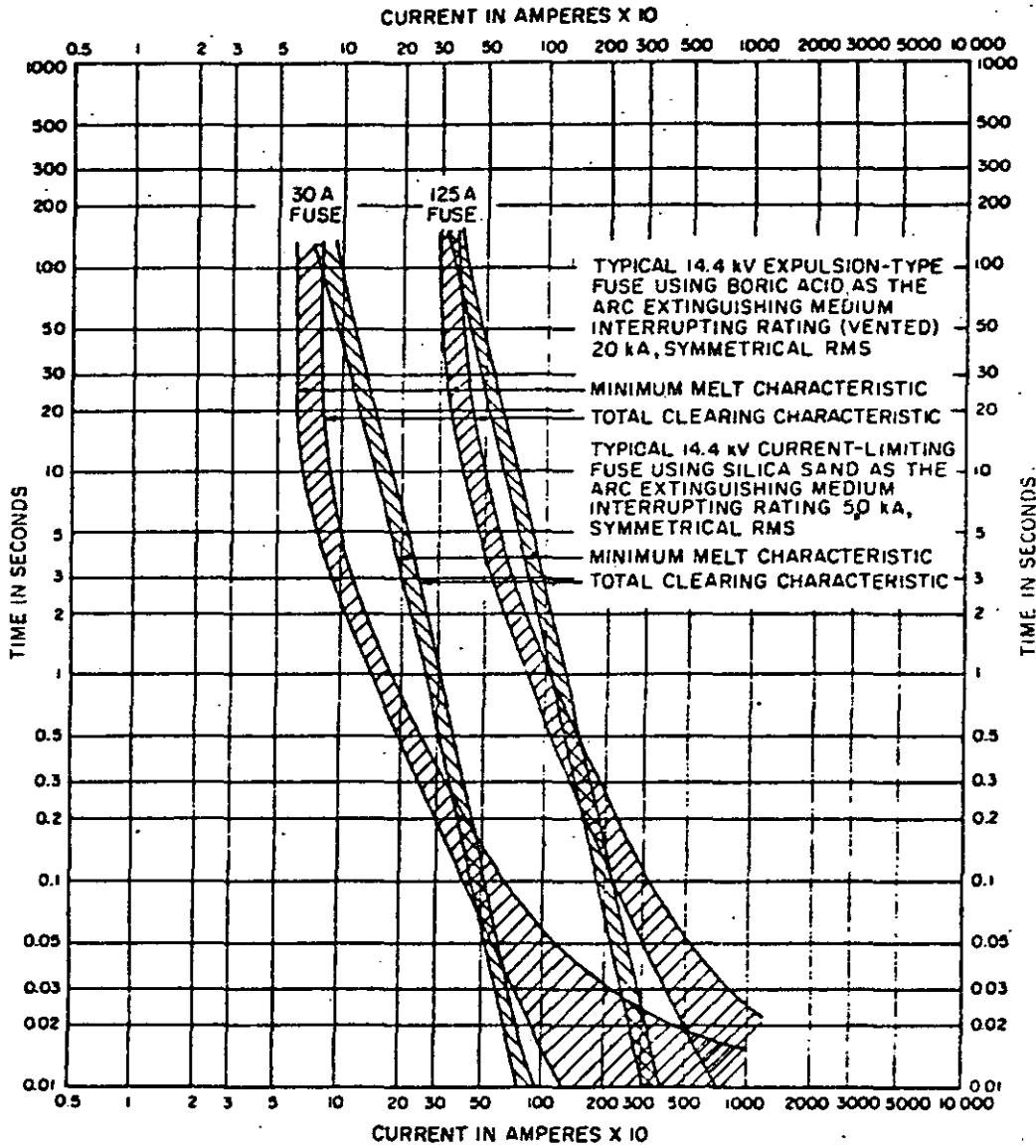
ESTA DISEÑADO DE TAL FORMA QUE AL FUNDIRSE EL ELEMENTO FUSIBLE SE INTRODUCE UNA ALTA RESISTENCIA DE ARCO EN EL CIRCUITO, ANTES DE LA CORRIENTE DE PICO DEL PRIMER MEDIO CICLO. ESTO RESTRINGE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO A UN VALOR MENOR.

APLICACIONES TIPICAS: PROTECCION DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL Y PROTECCION DE CARGAS PEQUEÑAS (HASTA 3000 KVA) EN CIRCUITOS DE ALTA CAPACIDAD DE C.C.

SU CURVA CARACTERISTICA ES CASI VERTICAL, LO QUE DIFICULTA LA COORDINACION.

LA ACCION DE FORZAR LA CORRIENTE LIMITANDOLA DURANTE LA INTERRUPTOR PRODUCE SOBRETENSIONES TRANSITORIAS, POR LO QUE SE PUEDE REQUERIR UNA ADECUADA PROTECCION CON APARTARRAYOS.

LA CONSTRUCCION DE ESTOS FUSIBLES ES CON ELEMENTO FUSIBLE DE PLATA Y ARENA SILICA COMO MEDIO DE EXTINCION.



**Fig 31**  
**Time—Current Characteristic Curves Showing the Difference Between Boric-Acid Expulsion-Type and Current-Limiting Fuses**

El fusible se debe escoger de tal forma que su valor se encuentre entre 1.8 y 3 veces el valor de la corriente nominal del transformador. En este rango se pueden garantizar las características de los fusibles (ver diagramas 1 y 2).

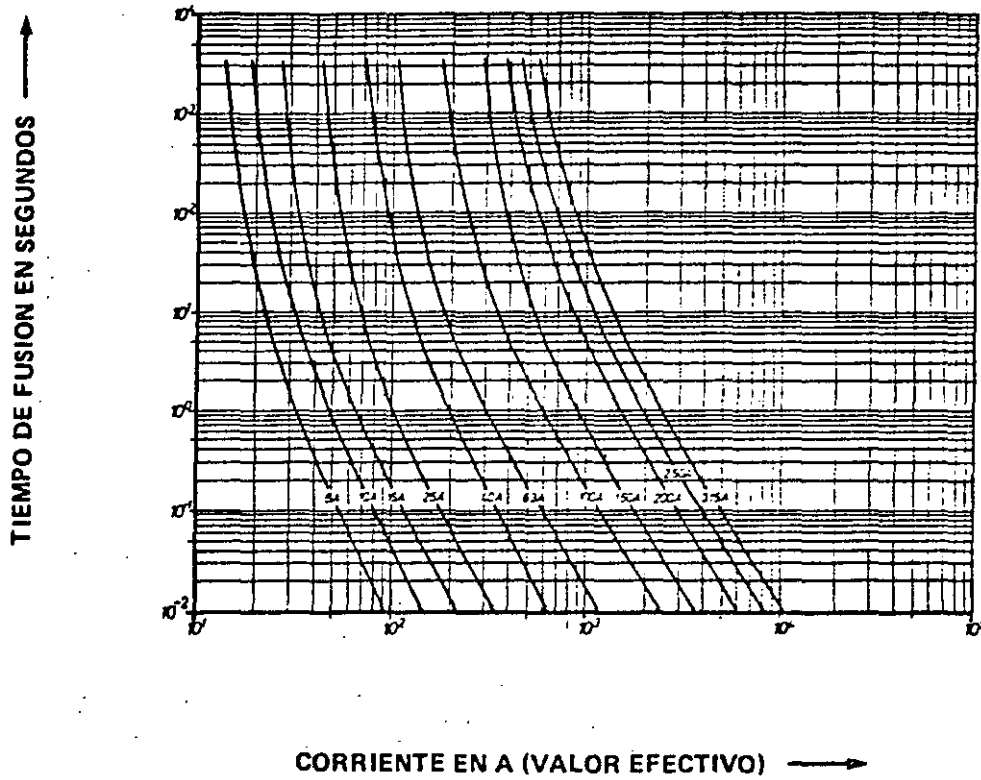


Diagrama 1: Curvas corriente-tiempo.

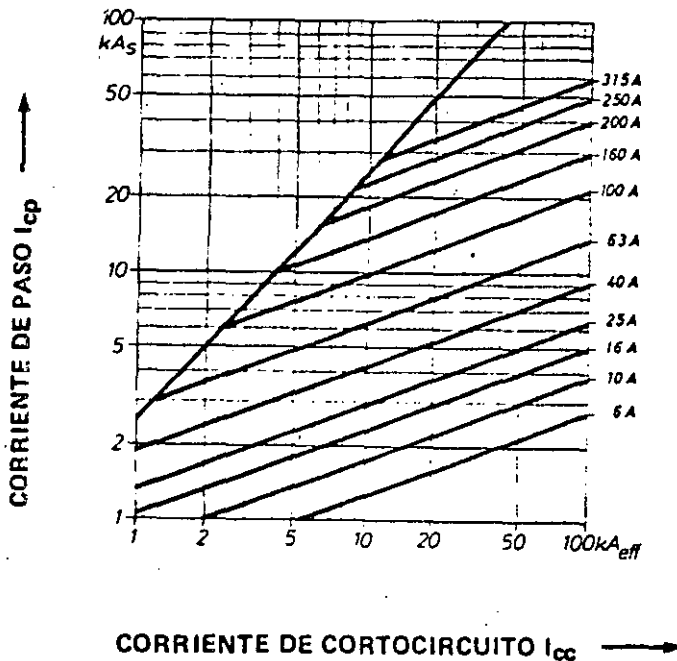


Diagrama 2: Paso de corriente.

La selectividad de los fusibles es de 1.6; por ejemplo un fusible de 100A se puede combinar con un fusible de 160A, asegurándose así que el fusible de menor intensidad se funda primero.

FUSIBLE  $I_n$

Ejemplo: Con  $I_{cc} = 10 \text{ kA}_{eff}$  el fusible de 25A limita el valor de amplitud de la corriente de cortocircuito de 26 kA en  $2.5 \text{ kAs} = I_{cp}$ .



---

---

UN ASPECTO IMPORTANTE EN EL USO DE FUSIBLES ES PREVENIR LA OPERACION MONOFASICA DEL SISTEMA. ESTO PUEDE CREAR PROBLEMAS - MUY SERIOS DE DESBALANCEO EN EQUIPOS O PROPICIAR FENOMENOS DE SOBRECARGA POR FERRORESONANCIA.

POR LA ANTERIOR RAZON, UN DISPOSITIVO DEBE HACER OPERAR EN GRUPO EL SECCIONADOR AL OPERAR UN FUSIBLE.

---

---

#### FUSIBLES TIPO EXPULSION.

PARA INTERRUMPIR LA FALLA SE EMPLEA UN TUBO CONFINADOR DE ARCO Y DENTRO EL ELEMENTO FUSIBLE. LA INTERRUPCION DEL ARCO SE REALIZA CON LOS PROPIOS GASES PRESURIZADOS DENTRO DEL TUBO AL SALIR HACIA UNO DE LOS EXTREMOS ABIERTOS DEL CARTUCHO.

SE USA BASICAMENTE EN EXTERIORES PARA PROTEGER CONTRA SOBRECORRIENTE (Y ALGUNOS DISEÑOS CONTRA SOBRECARGA) ALIMENTADORES, PRIMARIOS DE TRANSFORMADORES, BANCOS DE CAPACITORES.

USADOS DENTRO DE GABINETES, HAY QUE TENER CUIDADO CON VENTILAR LOS GASES IONIZADOS DE MANERA TAL QUE NO CONTAMINEN LAS PARTES VIVAS INTERNAS.

#### FUSIBLES EN BAJA TENSION

- NO LIMITADORES DE CORRIENTE.

CLASES H Y K DE ACUERDO A NOMENCLATURA DE UNDERWRI--  
TERS LABORATORIES.

CLASE H. PUEDEN SER RENOVABLES O NO. HASTA 600 A. PUEDEN TENER DOBLE ELEMENTO (INST. Y TIEMPO) O SOLO INSTANTANEO. NO TIENEN CAPACIDAD INTERRUPTIVA PERO DEBEN DE HABER SIDO PROBADOS A 10,000 A. LOS FUSIBLES RENOVABLES SON RIESGOSOS.

CLASE K. ALTA CAPACIDAD INTERRUPTIBLE. IGUAL TAMAÑO CLASE H, PERO SON GARANTIZADOS A 50,000; 100,000 O 200,000 A. PUEDEN TENER ELEMENTO DE TIEMPO.

- LIMITADORES DE CORRIENTE.

SU USO MAS FRECUENTE ES CUANDO LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO DISPONIBLE ESTA MAS ALLA DE LA CAPACIDAD DEL EQUIPO. SE COORDINAN CON INTERRUPTORES. LOS MAS IMPORTANTES, DE ACUERDO A CLASIFICACION DE U.L. SON LOS CLASE J. Y CLASE L.

CLASE J. HASTA 600 A. NO ES INTERCAMBIABLE CON CLASE H NI CLASE K. 200,000 A. DE C.I. LA CORRIENTE DE PICO DE FUGA Y LOS VALORES DE  $I^2 t$  DEPENDEN PARA CADA CASO.

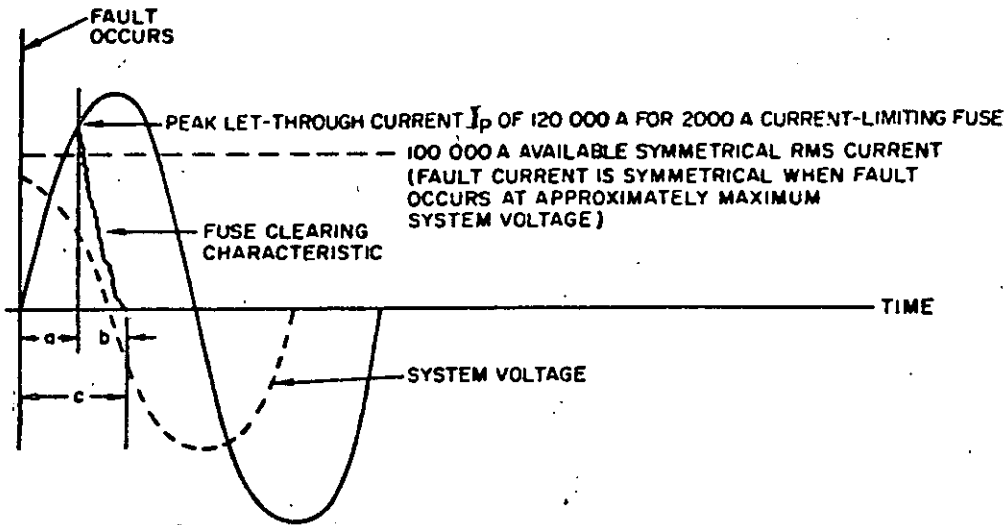
CLASE L. DE 601 A. A 6,000 A. 200,000 A. DE C.I.

APLICACION DE FUSIBLES.

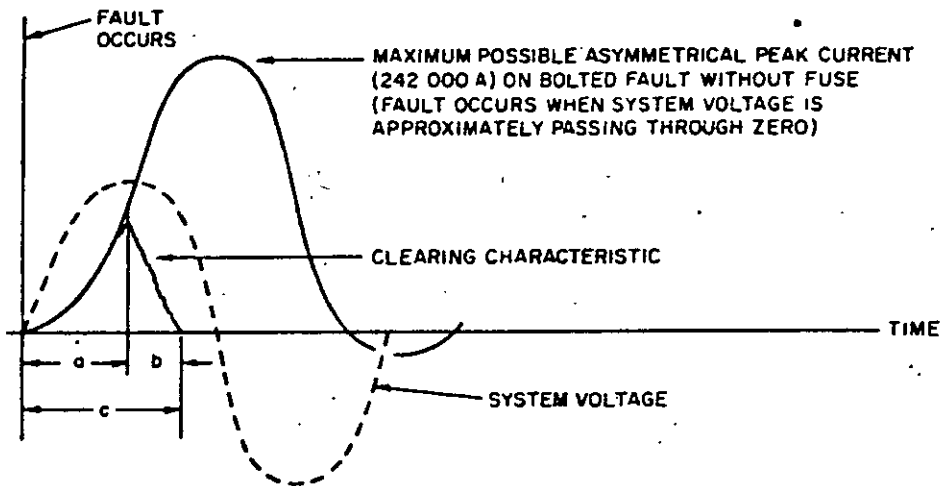
ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS:

CORRIENTE DE PICO DE FUGA.- ES LA CORRIENTE MAXIMA INSTANTANEA QUE PASA A TRAVES DE UN FUSIBLE LIMITADOR DURANTE EL TIEMPO TOTAL DE APERTURA. DADO QUE ESTE ES UN VALOR INSTANTANEO, PODRA EXCEDER LA CORRIENTE RMS DISPONIBLE PERO SERA MENOR QUE LA CORRIENTE DE PICO DISPONIBLE SI NO HUBIERA FUSIBLE EN EL CIRCUITO.

CONCEPTO  $I^2 t$ . ES LA MEDIDA DE LA ENERGIA CALORIFICA GENERADA EN UN CIRCUITO DURANTE LA FUSION O APERTURA DE UN FUSIBLE. GENERALMENTE SE DENOMINA FUSION  $I^2 t$ , SIENDO I LA CORRIENTE EFECTIVA Y t EL TIEMPO. (AMP<sup>2</sup>-SEG.).



(a)



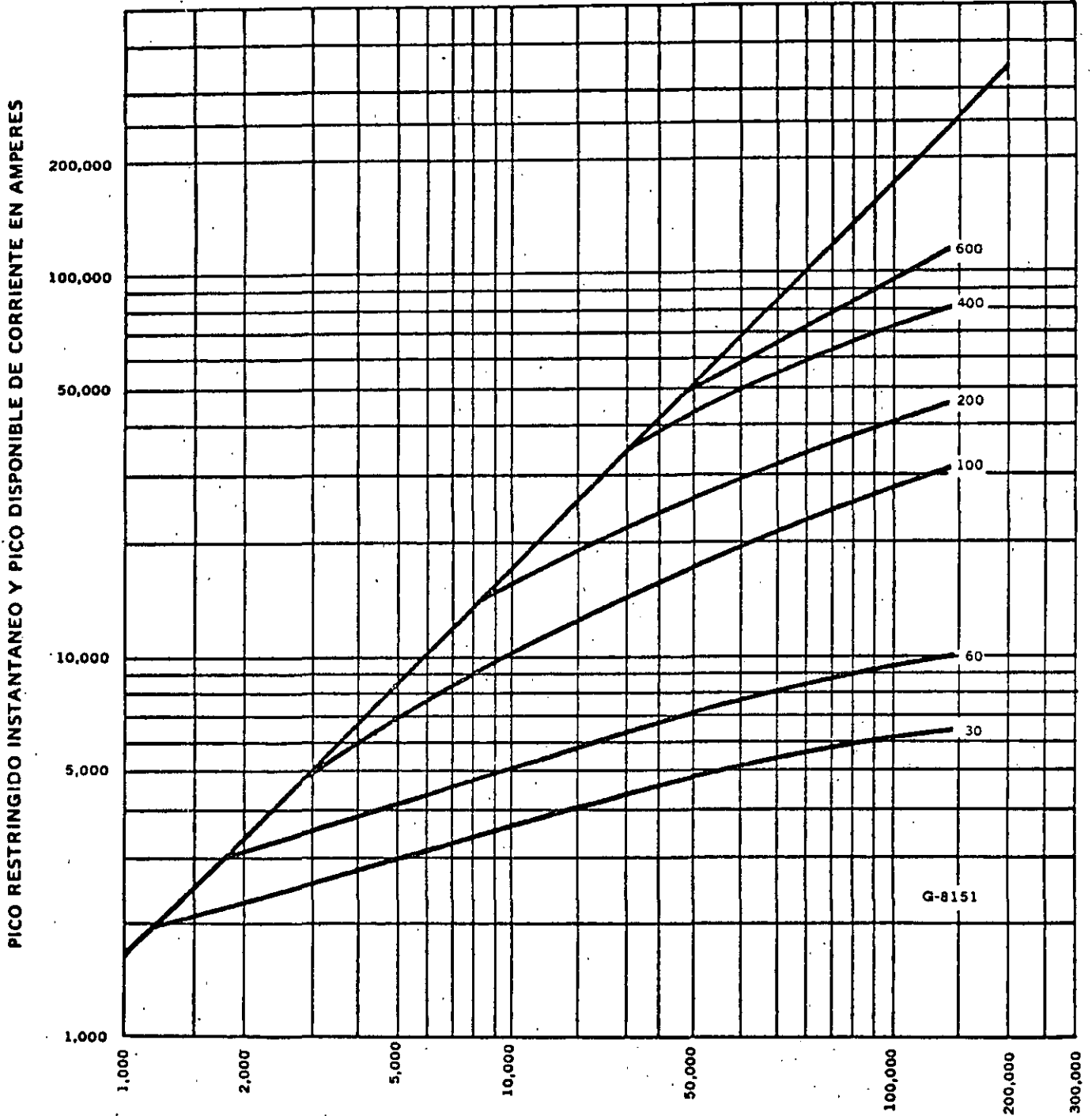
(b)

- a — Melting Time
- b — Arcing Time
- c — Total Clearing Time

**Fig 32**  
**Typical Current-Limitation Characteristics Showing Peak Let-Through and Maximum Prospective Fault Current as a Function of the Time of Fault Occurrence (100 kA Available Symmetrical rms Current)**  
**(a) Fault Occurring at Peak Voltage. (b) Fault Occurring at Zero Voltage**

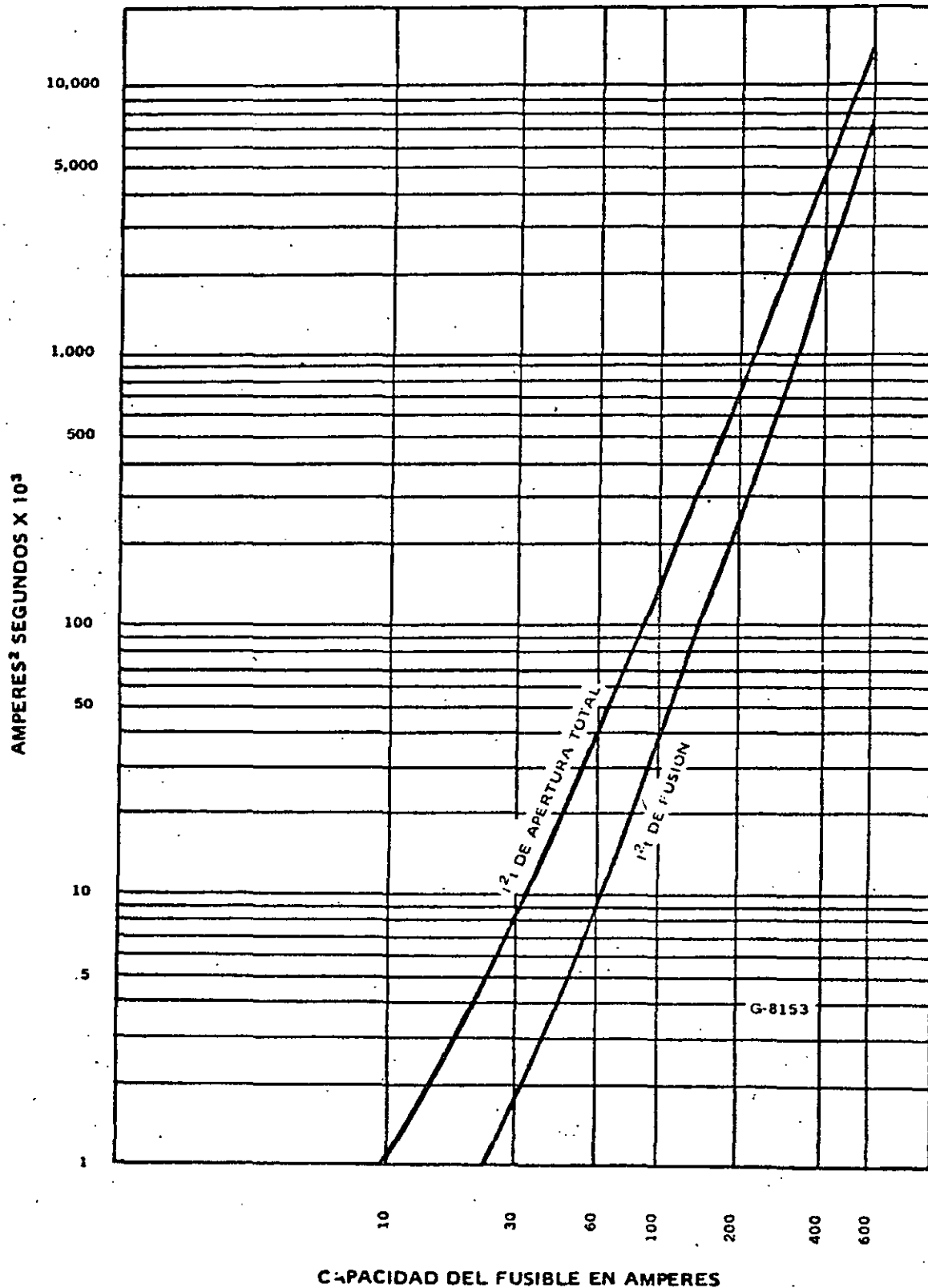
FUSIBLES

CURVAS DE CORRIENTE PICO DE LA CORRIENTE DE FUGA - Hasta 600 Amp. 250 Volts.



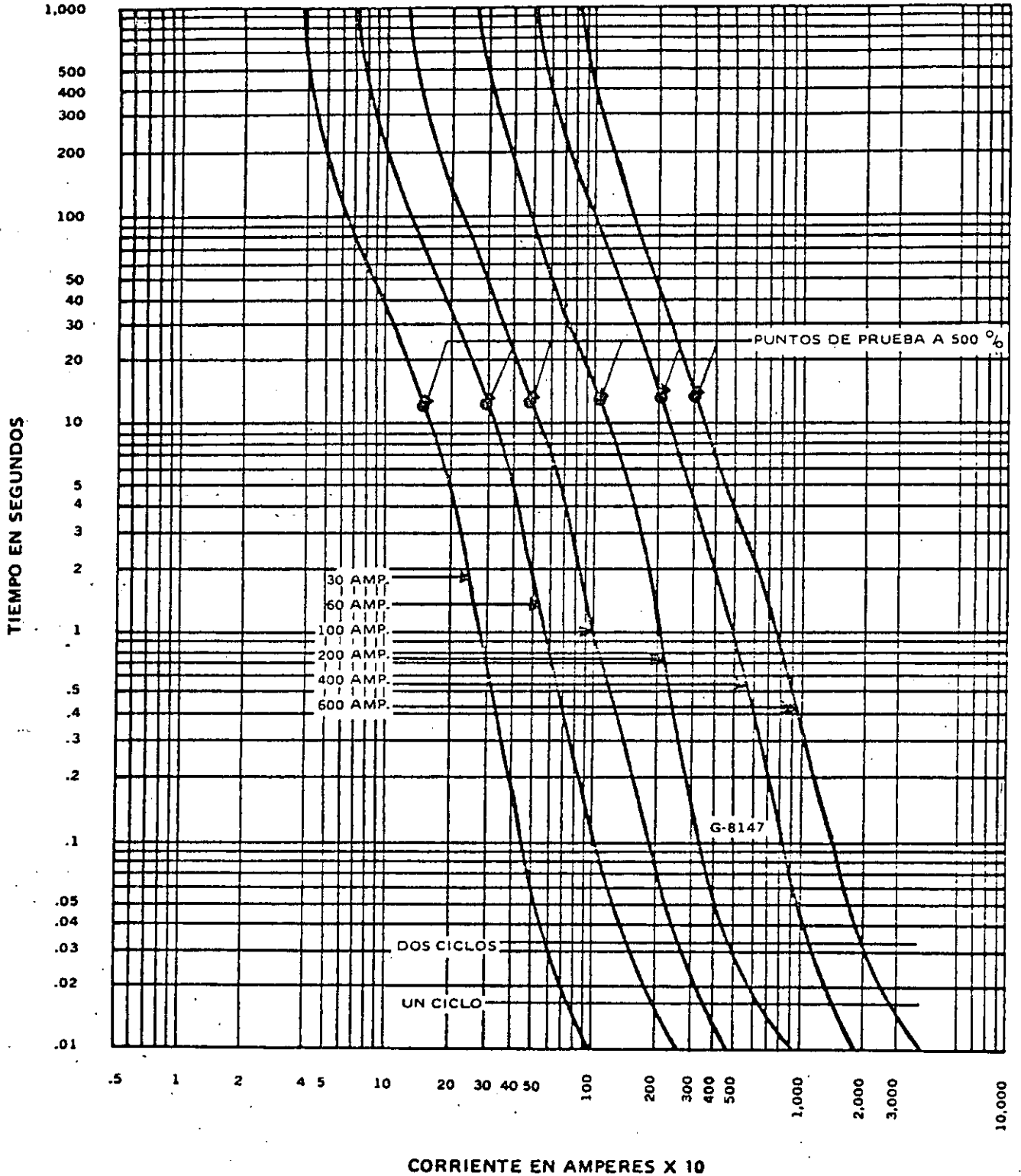
CORRIENTE DISPONIBLE - ASIMETRICA=R.M.C. SIMETRICA X 1.4  
NOTA: AMPS. RMC ASIMETRICOS = AMPS. R.M.C. SIMETRICOS X 1.4

CARACTERISTICAS DE LA ENERGIA DE FUGA — Valor  $I^2t$  de Prearqueo y Máximo de Apertura hasta 600 Amp. 250 Volts.



FUSIBLES

CURVAS CARACTERISTICAS PROMEDIO TIEMPO-CORRIENTE - 0 a 600 Amp. 250 Volts.



- LA CORRIENTE DE PICO DE FUGA DE LOS FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE NO DEBE SOBREPASAR EL VALOR DE LA CORRIENTE MOMENTANEA - QUE PUEDEN SOPORTAR LOS INTERRUPTORES Y TABLEROS QUE SE ENCUENTRAN DESPUES DE LOS FUSIBLES. CON ESTA PRECAUCION, LOS TABLEROS E INTERRUPTORES PUEDEN OPERAR EN SISTEMAS CON UN CORTO CIRCUITO MAS ELEVADO QUE SU CAPACIDAD.

- CUANDO SE COORDINA UN FUSIBLE CON OTRO, EL DEL LADO DE CARGA DEBE DE TENER UN VALOR  $I_t$  MENOR QUE EL DEL LADO DE LINEA. AL APLICARSE EN UN SWITCH DE SEGURIDAD, EL FUSIBLE DEBE DE TENER UN VALOR DE  $I_t$  MENOR QUE EL SWITCH.

---

### 5.3.2 INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS EN CAJA MOLDEADA.

ESTOS INTERRUPTORES CONTIENEN UNA PROTECCION DE SOBRECARGA (TERMICA, BIMETAL) PARA RESPALDO DE PROTECCION A MOTORES O EN SOBRECARGAS EN CIRCUITOS, Y UNA PROTECCION DE SOBRECORRIENTE, PARA CORTOS CIRCUITOS, MEDIANTE SU ELEMENTO INSTANTANEO (MAGNETICO).

---

### 5.3.3 INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS.

INTERRUPTORES DE MAYOR CAPACIDAD QUE LOS TERMOMAGNETICOS. MEDIANTE SENSORES DE CORRIENTE Y RELES (ULTIMAMENTE DE ESTADO SOLIDO), SE PUEDEN TENER LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE PROTECCION:

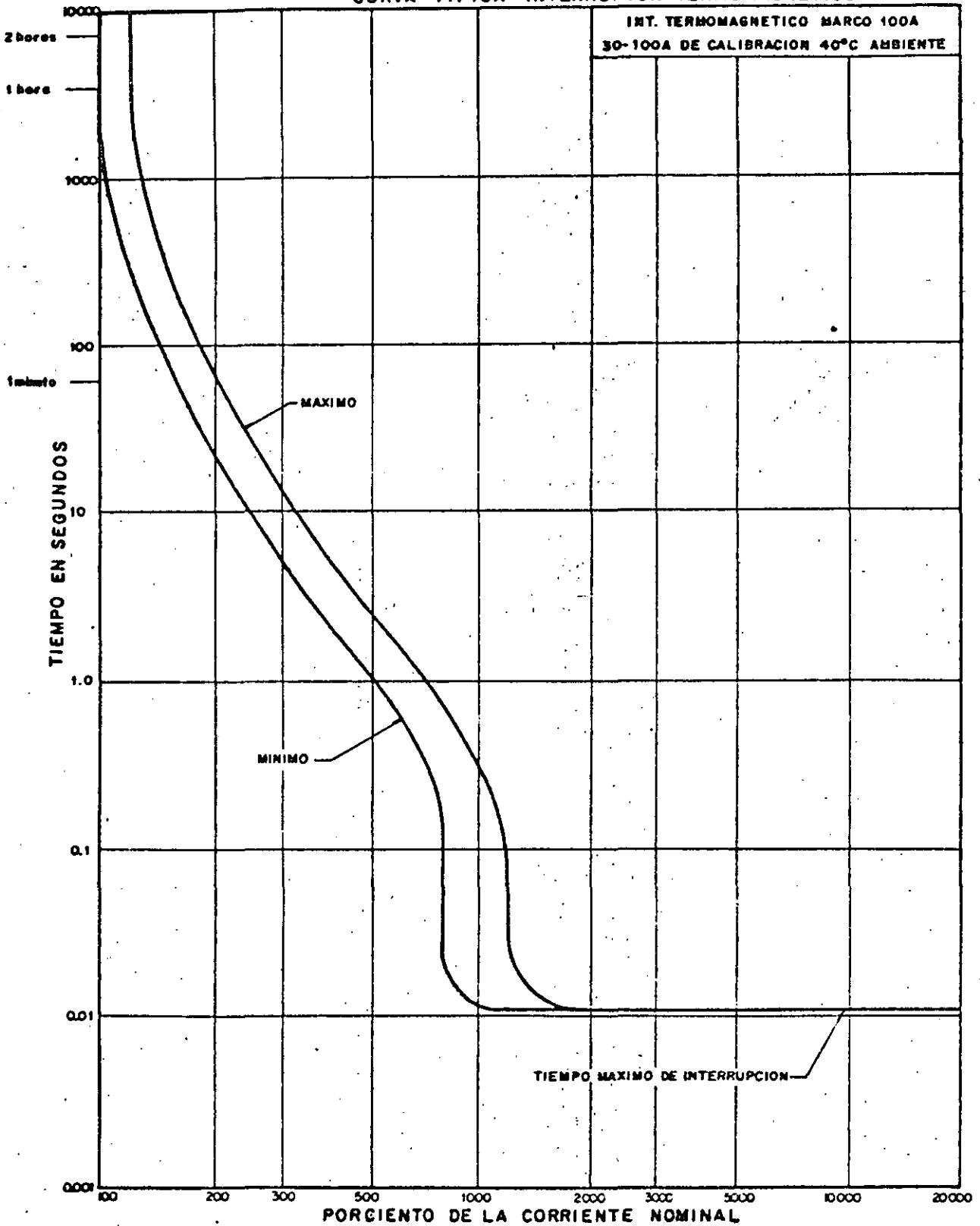
- DISPARO AJUSTABLE A 0.7, 0.9, 1.0, 1.1 Y 1.3 VECES LA CORRIENTE DEL SENSOR.

TIEMPO

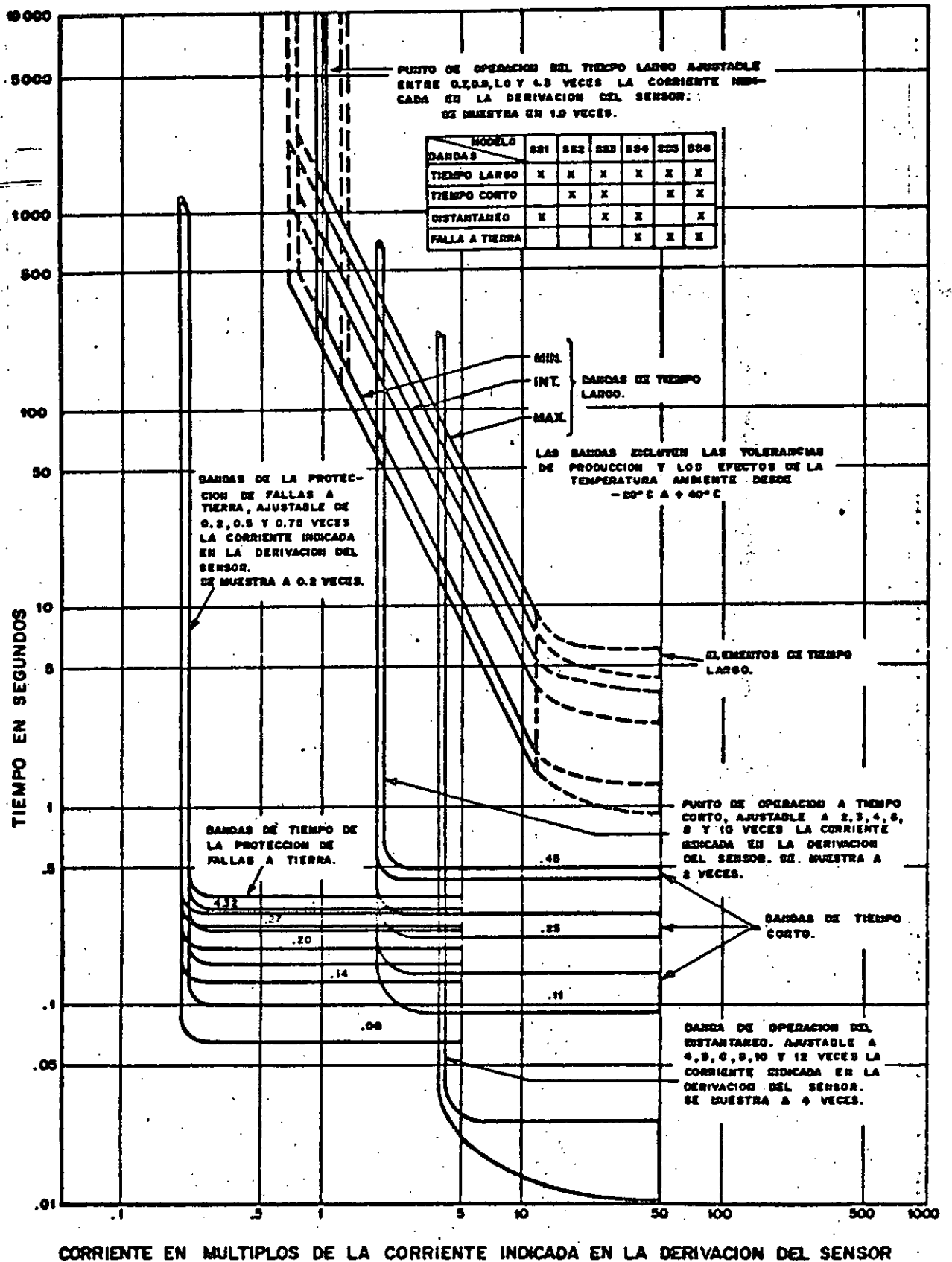
LARGO

- CURVAS DE TIEMPO, MINIMA 6.5 SEG., MEDIA 19 SEG., MAXIMA 35 SEG.

**CURVA TIPICA INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO**







CURVAS TIEMPO-CORRIENTE DE LOS RELES DE SOBRECORRIENTE TRANSISTORIZADOS TIPO SS.

TIEMPO  
CORTO

-DISPARO AJUSTABLE A 2, 3, 4, 6, 8 Y 10 VECES  
LA CORRIENTE DEL SENSOR.

-CURVAS DE TIEMPO, MINIMA A 7 CICLOS, MEDIA  
15 CICLOS Y MAXIMA 27 CICLOS.

INSTANTANEO

DISPARO AJUSTABLE A 4, 5, 6, 9, 10 Y 12  
VECES LA CORRIENTE DEL SENSOR.

FALLA A  
TIERRA

-DISPARO AJUSTABLE A 0.2, 0.5, Y 0.75 LA  
CORRIENTE DEL SENSOR DE FALLA A TIERRA.

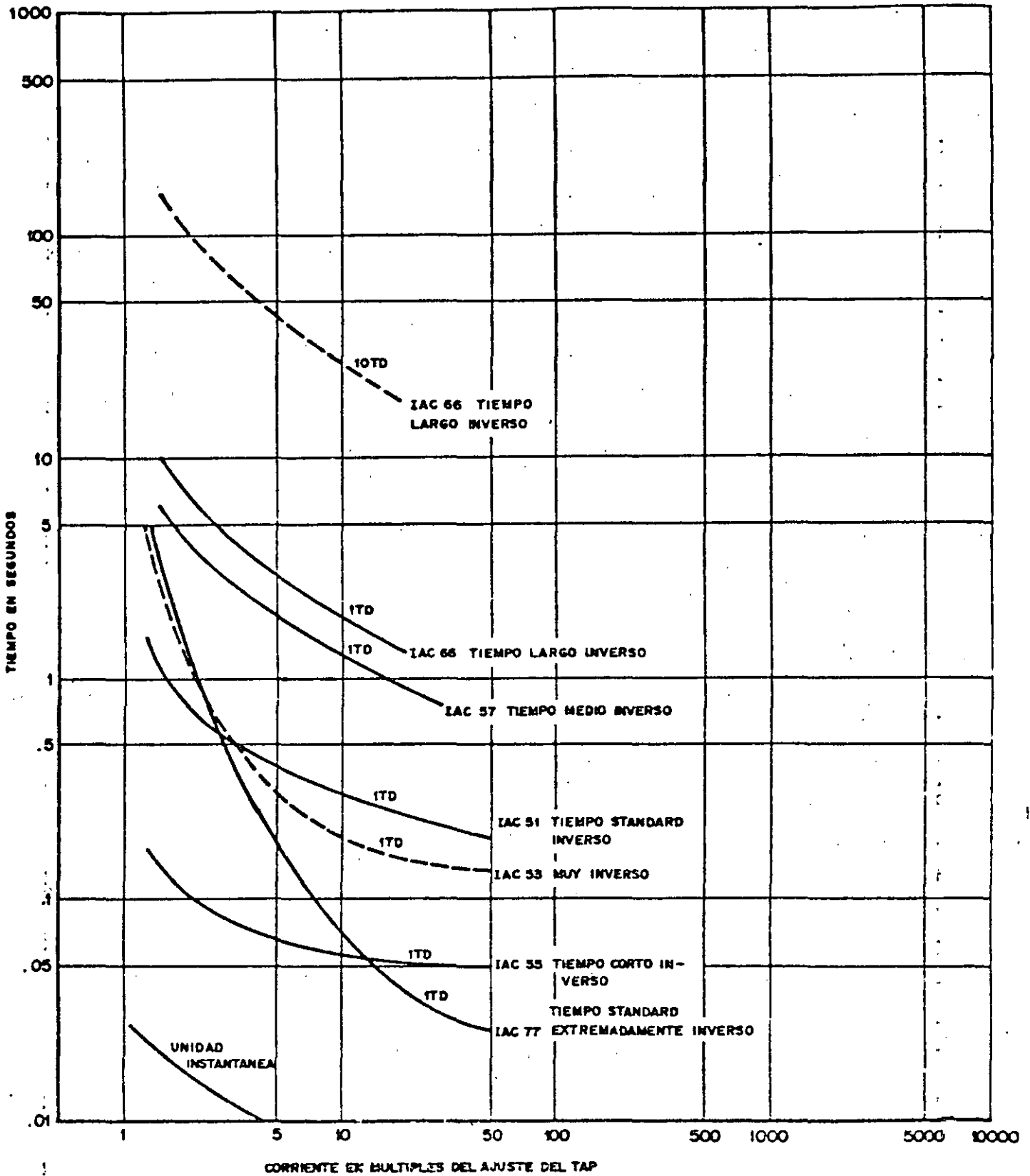
-RETARDO AJUSTABLE A 0.08 Y 0.32 SEG.

---

#### 5.3.4 RELES DE SOBRECORRIENTE.

EXISTEN VARIOS TIPOS:

- TIEMPO LARGO INVERSO
- TIEMPO CORTO INVERSO
- TIEMPO MEDIO INVERSO
- TIEMPO STANDARD INVERSO
- MUY INVERSO
- EXTREMADAMENTE INVERSO.



CURVAS COMPARATIVAS TIEMPO-CORRIENTE DE LOS RELEVADORES DE INDUCCION MAS COMUNES, CON EL DISPARO INSTANTANEO. (TD= AJUSTE DE TIEMPO)

EN SISTEMAS INDUSTRIALES LOS MAS FRECUENTEMENTE USADOS SON -  
LOS DE TIEMPO STANDARD INVERSO (IAC 51) Y DE TIEMPO STANDARD MUY IN-  
VERSO (IAC 53).

EL RELE DE TIEMPO INVERSO ES MEJOR QUE EL DE TIEMPO MUY IN--  
VERSO DONDE HAY UNA AMPLIA VARIACION DE NIVELES DE CORRIENTE DE COR-  
TO CIRCUITO, DEBIDO AL CAMBIO DE FUENTES DE POTENCIA EN USO.

EL DE CURVA MUY INVERSA ES ADECUADO EN SISTEMAS DE DISTRIBU-  
CION ALIMENTADOS POR GRANDES SISTEMAS DE POTENCIA, DEBIDO A QUE EN  
FALLAS PEQUEÑAS ES LENTO, MAS ES RAPIDO EN ALTOS VALORES DE FALLA.

UNA VEZ SELECCIONADO EL MODELO DE RELEVADOR, SIGUE ESCOGER -  
LOS RANGOS DE CORRIENTE DE LOS ELEMENTOS DE TIEMPO INVERSO E INSTAN-  
TANEO. LOS BAJOS RANGOS, COMO EL DE 0.5-2 A. PUEDEN SER USADOS DON-  
DE UNA BAJA CORRIENTE DE PICK-UP SE REQUIERA, COMO ES EL CASO DE --  
LAS CORRIENTES DE TIERRA O DE NEUTRO.

PARA PROTECCION DE FASE SE RECOMIENDA EL RANGO DE 2-16 A. EN

EL RELEVADOR TIENE "TAPS". PARA EL RANGO 2-16 A., POR EJEM-  
PLO, ESTOS SON:

<u>RANGO</u>	<u>TAPS DISPONIBLES</u>
2-16	2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10.0, 12.0, 16.0

LAS CURVAS TAMBIEN SE PUEDEN MOVER VERTICALMENTE.

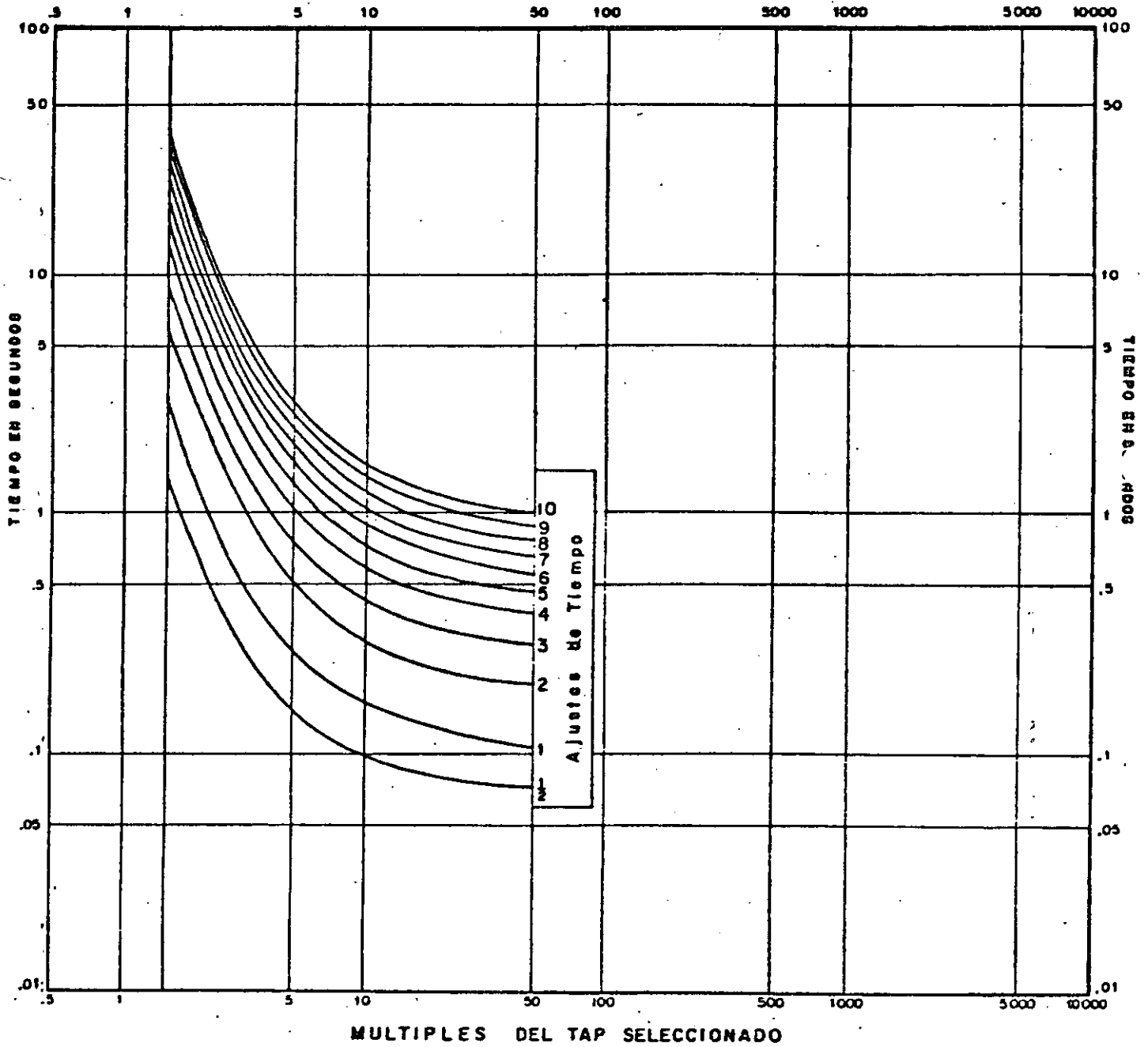


FIG. No. 34 CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE PARA EL RELEVADOR IAC 53

#### 5.4 REQUERIMIENTOS DE PROTECCION DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL.

ES NECESARIO ESTABLECER LOS LIMITES DE VALORES DE CORRIENTE, INFERIORES Y SUPERIORES EN EL QUE TRABAJA EL EQUIPO, Y UN BUEN METODO ES ESTABLECIENDO:

- 1.- CONDICIONES DE OPERACION.
- 2.- REQUERIMIENTOS MINIMOS DE PROTECCION.
- 3.- NIVELES DE CORRIENTE MAXIMOS QUE PUEDEN SOPORTAR LOS EQUIPOS (ANTES DE DAÑARSE).

##### 5.4.1 CONDICIONES DE OPERACION.

- LAS PROTECCIONES DEBEN SER INSENSIBLES A LAS CORRIENTES NORMALES, COMO POR EJEMPLO:

- CORRIENTES A PLENA CARGA
- SOBRECARGAS PERMISIBLES
- ARRANQUE DE MOTORES
- CORRIENTES TRANSITORIAS (INRUSH)

ESTOS DATOS PUEDEN OBTENERSE DE LOS FABRICANTES DE EQUIPO, EN LAS PLACAS DE LOS APARATOS O EN LOS VALORES DE NORMA.

CUANDO NO SE DISPONGA DE DATOS, LAS SIGUIENTES APROXIMACIONES SON NORMALMENTE ADECUADAS:

- MOTORES:

UN H.P. ES APROXIMADAMENTE IGUAL A UN KVA PARA MOTORES DE INDUCCION Y F.P. DE 0.8. EN MOTORES SINCRONOS CON F.P. DE LA UNIDAD, UN H.P. ES IGUAL A 1.25 KVA.

FACTOR DE SERVICIO DE 1. POR LO TANTO NO HAY CAPACIDAD PARA SOBRECARGARLO.

CORRIENTE TRANSITORIA DE INRUSH IGUAL A 1.76 PARA M.T. Y 1.5 PARA MOTORES EN B.T., VECES LA CORRIENTE A ROTOR BLOQUEADO; CON UNA DURACION DE 0.1 SEGUNDOS.

CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO IGUAL A 6 VECES CORRIENTE A PLENA CARGA EN MOTORES DE INDUCCION. PARA MOTORES SINCRONOS CON CARGAS DE BAJA INERCIA, ESTE VALOR ES 6 VECES. CON CARGAS DE ALTA INERCIA, LA CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO SERA DE 9 VECES. EL TIEMPO DE DURACION ES DE 5 A 30 SEGUNDOS, DEPENDIENDO DE LA INERCIA DE LA CARGA.

TRANSFORMADORES.

CAPACIDAD DE SOBRECARGA. DEPENDE DEL TIPO DE ENFRIAMIENTO USADO.

TIPO	KVA	ENFRIAMIENTO		TEMPERATURA	
		TIPO	FACTOR	ELEVACION	FACTOR
SECO	≤2500	AA	1.0	150°C	1.0
		FA	1.3		
LIQUIDO, TIPO CENTRO DE CARGA	≤2500	OA	1.0	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	≤500	FA	1.0	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	>500	FA	1.15	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	≤2000	FA	1.25	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	>2000	FA	1.25	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
LIQUIDO, SUBESTACION PRIMARIA	OA	1.0	55°C	1.0	
			55/65°C	1.12	
	FA	1.33	55°C	1.0	
			55/65°C	1.12	
	FOA	1.67	55°C	1.0	
			55/65°C	1.12	



DE LO ANTERIOR, SE PUEDE ESTABLECER QUE LA CAPACIDAD DEL --  
 TRANSFORMADOR ES LA CORRIENTE A PLENA CARGA MULTIPLICADA POR EL --  
FACTOR DE ENFRIAMIENTO Y POR EL FACTOR DE ELEVACION DE TEMPERATURA.

CORRIENTE DE INRUSH POR MAGNETIZACION:

- + 12 VECES AMPERS A PLENA CARGA PARA TRANSFORMADORES TIPO  
 SUBESTACION Y PEDESTAL.
- + 8 VECES AMPERS A PLENA CARGA PARA UNIDADES TIPO CENTRO\_  
 DE CARGA.
- + 8-25 VECES PARA TRANSFORMADORES TIPO SECO PARA DISTRIBU  
 CION EN BAJA TENSION.

CABLE

LA CAPACIDAD DE SOBRECARGA DEPENDE DEL TIPO DE INSTALA---  
 CION. LAS TABLAS DE CONDUCTORES EN EL NATIONAL ELECTRIC CODE SIR-  
 VEN DE GUIA.

5.4.2. REQUERIMIENTOS MINIMOS DE PROTECCION.

LOS CODIGOS Y STANDARDS LIMITAN LOS AJUSTES DE LOS EQUI--  
 POS DE PROTECCION.

MOTORES

PARA MOTORES ARRIBA DE 600 VOLTS, EL NEC. EN SU ARTICULO\_  
 430, PARTE J, REQUIERE QUE CADA MOTOR SEA PROTEGIDO CONTRA SOBRE--  
CARGAS PELIGROSAS MEDIANTE PROTECCION TERMICA INTERNA O EXTERNA. -  
 LA PROTECCION CONTRA CORRIENTES DE FALLA ES MEDIANTE INTERRUPTORES  
 O FUSIBLES.

PARA MOTORES ABAJO DE 600, EL N.E.C. REQUIERE EN SU ARTICULO 430, PARTE C, LO SIGUIENTE: PROTECCION CONTRA SOBRECARGA.

MOTORES PARA FACTOR DE SERVICIO

NO MENOR A 1.15 ————— 125%

MOTORES CON ELEVACION DE TEMPERATURA

NO MAYOR A 40°C ————— 125%

TODO EL RESTO DE MOTORES ——— 115%

PARA PROTECCION DE SOBRECORRIENTE, EL N.E.C. REQUIERE UN DISPOSITIVO DE VALOR NOMINAL O AJUSTADO A:

TIEMPO INVERSO EN INTERRUPTOR 250%

DISPARO INSTANTANEO EN INTERRUPTOR 700%

FUSIBLES SIN RETARDO DE TIEMPO 300%

FUSIBLES DE DOBLE ELEMENTO, CON RETARDO DE TIEMPO 175%

SI EL PROTECTOR CONTRA C.C. FORMA PARTE DE UNA COMBINACION - INTERRUPTOR-ARRANCADOR, SE PUEDE ELEVAR EL VALOR DE AJUSTE INSTANTANEO, PERO A NO MAS DE 1300%.

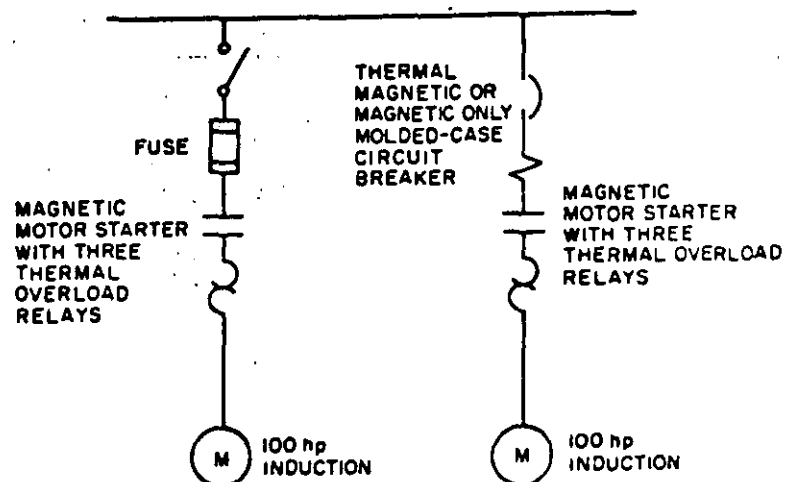


Fig 39

Motor Protection Acceptable to the NEC

TRANSFORMADORES.

LA SIGUIENTE TABLA RESUME LAS CARACTERISTICAS DE PROTECCION.

IMPEDANCIA	LADO PRIMARIO			LADO SECUNDARIO		
	TENSION	INTERRUPTOR	FUSIBLE	>600 V		≤600 V
				INTERRUPTOR	FUSIBLE	
TODAS	>600 V	≤ 3x	≤1.5x	NO DEFINIDO	NO DEFINIDO	NO DEFINIDO
≤6 %		≤ 6x	≤3x	≤ 3x	≤ 1.5x	≤2.5x
>6<10%		≤ 4x	≤2x	≤ 2.5x	≤ 1.25x	≤2.5x
TODAS	≤600 V	≤ 1.25x	≤ 1.25x			NO
		≤ 2.5x	≤ 2.5x			≤1.25x
≤ 6 %		≤ 6x	≤ 6x			PTI
> 6 % < 10%		≤ 4x	≤ 4x			

PTI : PROTECCION TERMICA INTERNA

CABLES

EL N.E.C. REQUIERE QUE LOS CABLES SEAN PROTEGIDOS CONTRA SOBRECORRIENTES COMO SIGUE:

CABLE ALIMENTADOR, TENSION MENOR O IGUAL A 600 V., DENTRO DE SU AMPACIDAD (ARTICULO 240-3).

CABLE ALIMENTADOR ARRIBA DE 600 VOLTS. UN FUSIBLE SELECCIONADO PARA UNA CORRIENTE PERMANENTE QUE NO EXCEDA 3 VECES LA AMPACIDAD DEL CONDUCTOR, O UN INTERRUPTOR QUE TENGA UN AJUSTE DE DISPARO DE NO MAS DE 6 VECES LA AMPACIDAD DEL CONDUCTOR (ARTICULO - 240-100).

5.4.3 NIVELES DE CORRIENTE MAXIMOS QUE PUEDEN SOPORTAR  
LOS EQUIPOS.

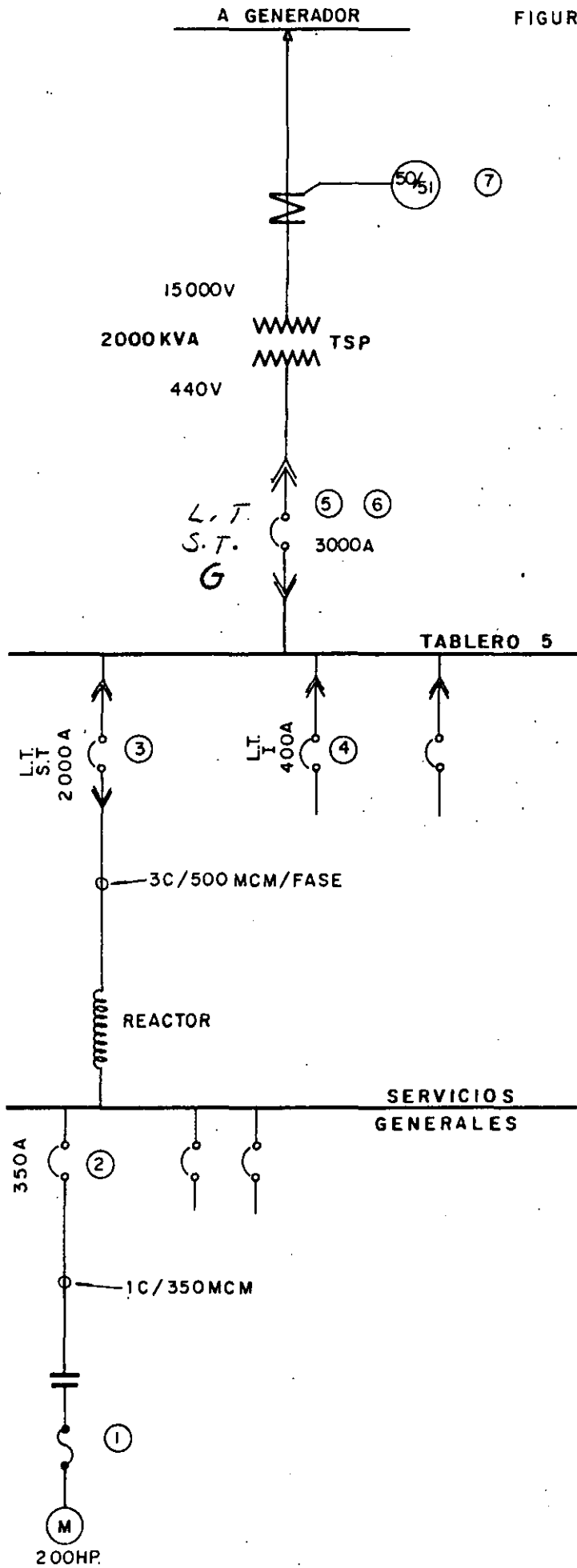
MOTORES. ES EL TIEMPO EN QUE UN MOTOR PUEDE PERMANECER -  
CON EL ROTOR BLOQUEADO.

TRANSFORMADORES. SE DENOMINA COMO EL PUNTO ANSI (ANSI -  
C57.12.00, 1973). ESTE PUNTO IDENTIFICA LOS REQUERIMIENTOS DE  
DISEÑO MEDIANTE LOS CUALES LOS DEVANADOS PUEDEN SOPORTAR, SIN  
DAÑO, LOS ESFUERZOS MECANICOS Y TERMICOS CAUSADOS POR LOS COR-  
TOS CIRCUITOS. LA TABLA SIGUIENTE RESUME ESTOS VALORES.

## DETERMINACION DEL PUNTO ANSI

% Z	CORRIENTE RMS SIMETRICA EN CUALQUIER DEVANADO		PERIODO DE TIEMPO (SEGUNDOS)
	CONEXION $\Delta \Delta \circ$ $Y Y$	CONEXION $\Delta Y$	
4-0 MENOS	25x	14.5x	2.0
5	20x	11.6x	3.0
5.25	19x	11.0x	3.25
5.50	18.2x	10.5x	3.50
5.75	17.4x	10.1x	3.75
6.0	16.6x	9.6x	4.0
6.50	15.4x	8.9x	4.50
7.0	14.3x	8.3x	5.0
8.0	12.5x	7.3x	5.0

FIGURA : DIAGRAMA UNIFILAR DE TABLERO DE SERVICIOS PROPIOS CON IDENTIFICACION DE EQUIPO DE PROTECCION



- 1.- ELEMENTOS TERMICOS 270 A
- 2.- TERMOMAGNETICO 350 A
- 3.- ELECTROMAGNETICO BANDA L.T. Y S.T.
- 4.- ELECTROMAGNETICO BANDAS L.T., I
- 5.- ELECTROMAGNETICO PROTECCION FASE, S.T. Y L.T.
- 6.- BANDA DE TIERRA
- 7.- RELE 50/51 IAC 53 B.

EJEMPLO DE APLICACION DE PROTECCIONES Y COORDINACIONPASO N° 1. CORRIENTES NORMALES DE OPERACION.A) MOTOR DE BOMBA, 200 H.P.

$$\text{CORRIENTE PLENA CARGA} = \frac{200}{\sqrt{3} (0.44)} = 262 \text{ A}$$

(CPC) (1 HP  $\doteq$  1 KVA)

CORRIENTE ROTOR BLOQUEADO (CRB)  
6 VECES LA CORRIENTE A PLENA CARGA Y SE ASUMEN 8 SE--  
GUNDOS DE DURACION.

$$\text{CRB} = 6 \times \text{CPC} = 1574 \text{ A.}$$

MAXIMA CORRIENTE DE ARRANQUE (MCA)

1.5 VECES CRB DURANTE 0.1 SEG.

$$\text{MCA} = 1574 \times 1.5 = \underline{\underline{2597}} \text{ A.}$$

B) CORRIENTES ADICIONALES EN EL TABLERO DE SERVICIOS GENERALES, DEBIDO A OTRAS CARGAS:

$$\text{CORRIENTES ADICIONALES} = 1353 \text{ A.}$$

$$\text{C.P.C. BOMBA N° 1} = \underline{262}$$

$$\text{TOTAL ALIMENTADOR A SERVICIOS GENERALES} = 1615 \text{ A.}$$

C) CORRIENTE EN TABLERO 5 SERVICIOS PROPIOS.

ALIMENTADOR SERVICIOS GENERALES	1615 A.
CORRIENTE ADICIONAL	800 A.
TOTAL	<u>2415 A.</u>



D) TRANSFORMADOR DE SERVICIOS PROPIOS.

$$\text{ALTA} : \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 15} = 77 \text{ A.}$$

$$\text{BAJA} : \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 0.44} = 2624 \text{ A.}$$

LA CORRIENTE DE MAGNETIZACION (INRUSH) SE CONSIDERA -  
8 VECES LA CORRIENTE A PLENA CAPACIDAD Y SU DURACION ES DE 0.1  
SEG.

CORRIENTE DE MAGNETIZACION TRANSITORIA (CMT) =

$$= 8 \times I_n = 8 \times 77$$

CMT = 616 A, DURACION 0.1 SEGUNDOS.

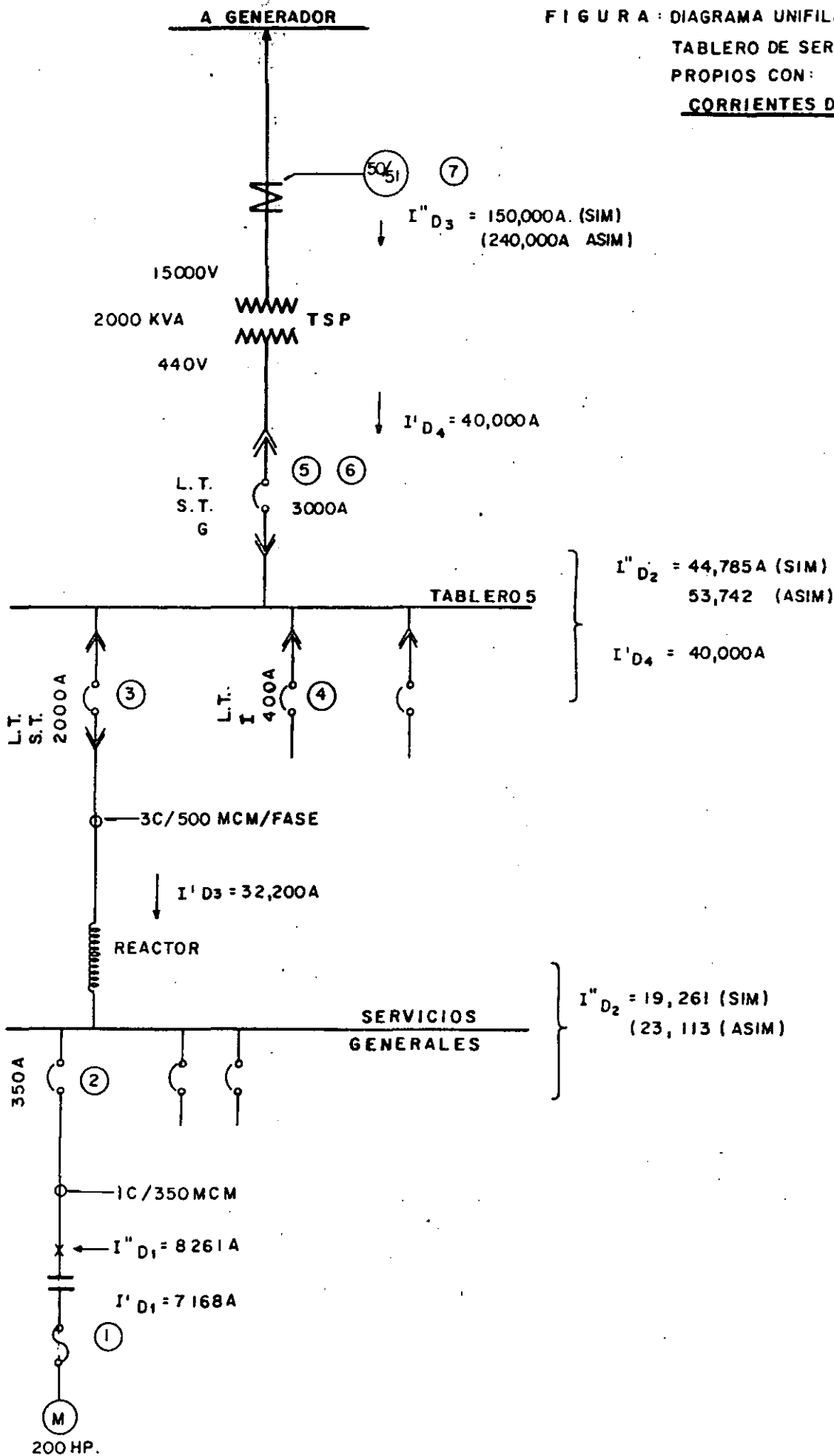
PASO N° 2. CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

ESTAS FUERON CALCULADAS POR SEPARADO Y SE MUESTRAN EN EL DIAGRAMA UNIFILAR ANEXO.

DE ACUERDO CON LA VELOCIDAD DE RELES O LA DEL EQUIPO DE DESCONEXION, SE DEBE CONSIDERAR SI SE TOMA EN CUENTA LA CORRIENTE SUBTRANSITORIA O TRANSITORIA.

APARATO DE PROTECCION	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO QUE SE DEBE CONSIDERAR.
BANDA INSTANTANEA EN ELECTROMAGNETICOS, INSTANTANEA EN TERMOMAGNETICOS Y RELES -- 50/51	$I''_D$ ASIMETRICA (SUBTRANSITORIA)
BANDAS DE TIEMPO CORTO Y TIERRA EN ELECTROMAGNETICOS.  UNIDAD DE TIEMPO RELE 50/51	$I'_D$  (TRANSITORIA)

FIGURA : DIAGRAMA UNIFILAR DE  
 TABLERO DE SERVICIOS  
 PROPIOS CON:  
CORRIENTES DE FALLA



PASO N° 3. DETERMINACION DE REQUERIMIENTOS DE PROTECCION EN EQUIPOS.

A) MOTOR DE LA BOMBA.

SOBRECARGA. COMO SE TRATA DE UN MOTOR CON UN FACTOR-DE SERVICIO DE 1.15, LA SOBRECARGA MAXIMA ES A 25%. POR LO -- TANTO, EL VALOR "NEC" DE SOBRECARGA:

$$\text{NEC-OL} = \text{CPC} \times 1.25 = 262 \times 1.25$$

$$\text{NEC-OL} = 327 \text{ A.}$$

SOBRECORRIENTE. COMO EL PROTECTOR ES UN TERMOMAGNETI-- CO, SE DEBE TENER 250% DE  $I_N$  COMO MAXIMO PARA LA CURVA DE -- TIEMPO INVERSO Y 1300% PARA EL ELEMENTO INSTANTANEO, POR LO -- QUE:

$$\text{NEC-OC}_1 = \text{CPC} \times 2.5 = 262 \times 2.5$$

$$\text{NEC-OC}_1 = \underline{655} \text{ A.}$$

$$\text{NEC-OC}_2 = \text{CPC} \times 13 = 262 \times 13$$

$$\text{NEC-OC}_2 = \underline{3400} \text{ A.}$$

B) CABLES.

LOS CABLES DEBERAN DE PROTEGERSE CONTRA LOS DAÑOS POR LA ELEVACION DE TEMPERATURA QUE SE PRESENTA DURANTE UN CORTO CIRCUITO, PROCURANDOSE LIMITAR ESTE DAÑO A UNA REDUCCION DE 1% EN LA VIDA UTIL DEL CABLE PARA CADA FALLA. LA ASOCIACION ESTADOUNIDENSE "INSULATED POWER CABLE ENGINEERS ASSOCIATION" (IPCEA) RECOMIENDA UNA SERIE DE TEMPERATURAS MAXIMAS QUE SE DEBEN DE ALCANZAR DEPENDIENDO DEL TIPO DE AISLAMIENTO DEL CABLE. LA SIGUIENTE TABLA NOS PROPORCIONA UNA IDEA DE LOS LIMITES DE TEMPERATURA QUE PUEDEN SOPORTAR LOS DISTINTOS TIPOS DE CABLES.

DESIGNACION N.E.C.	MAXIMA TEMPERATURA CONTINUA (°C)	MAXIMA TEMPERATURA TRANSITORIA EN EL CONDUCTOR (°C)
XHHW, RHH, RHW (600V-5KV SOLO)	90	250
XHHW (SOLO 600V)	90	250
RHW (SOLO 600V) RHH	75	200
THW, THWN (600V)	75	150
PVC	90	150
POLIETILENO, THHN	75	150

CONOCIDOS LOS LIMITES DE TEMPERATURA, CON LAS SIGUIENTES FORMULAS SE PUEDE DETERMINAR LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO -- QUE LAS PRODUCE:

$$\left(\frac{I}{CM}\right)^2 t = 0.0297 \log_{10} \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}$$

(CONDUCTORES DE COBRE)

Y

$$\left(\frac{I}{CM}\right)^2 t = 0.0125 \log_{10} \frac{T_2 + 228}{T_1 + 228}$$

(CONDUCTORES DE ALUMINIO)

DONDE:

I = AMPERES RMS DURANTE TODO EL INTERVALO DE FLUJO DE -- CORRIENTE.

t = DURACION DEL FLUJO DE C.C. EN SEGUNDOS

CM = SECCION DEL CONDUCTOR EN CIRCULAR MILS

T<sub>1</sub> = TEMPERATURA INICIAL DEL CONDUCTOR (°C)

T<sub>2</sub> = TEMPERATURA FINAL DEL CONDUCTOR (°C)

PARA EL ESTUDIO DE COORDINACION SE PONEN COMO DATOS T<sub>1</sub> Y T<sub>2</sub> (75° Y 150°C PARA LOS CABLES DE ESTE ESTUDIO, THW) Y DE -- AHI SE DIBUJA LA CURVA TIEMPO-CORRIENTE DEL CABLE EN PARTICU-- LAR SOBRE EL PAPEL LOG - LOG.

LOS BUSES TIENEN TAMBIEN UN CIERTO LIMITE DE TEMPERATURA AL QUE DEBEN CALENTARSE EN EL CASO DE UN CORTO CIRCUITO, Y ESTE ESTA DADO POR LA SIGUIENTE FORMULA:

$$I = 1974 A \sqrt{\frac{\log_{10} \left( \frac{T_M - T_A}{234 + T_A} + 1 \right)}{33 S}}$$

EN DONDE:

- I = CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN AMPERS.
- A = SECCION TRANSVERSAL DE LAS BARRAS EN MM<sup>2</sup>
- T<sub>M</sub> = TEMPERATURA DE FUSION DEL COBRE (1083°C)
- T<sub>A</sub> = TEMPERATURA AMBIENTE (°C)
- S = DURACION DEL CORTO CIRCUITO EN SEGUNDOS.

### C) TRANSFORMADOR DE 2000 KVA

DE ACUERDO A LA TABLA DE LA PAGINA 5-27, EL TRANSFORMADOR QUE TIENE UNA IMPEDANCIA MENOR AL 6% DEBE SER PROTEGIDO A 600% DEL LADO PRIMARIO Y A 250% EN EL LADO SECUNDARIO.

$$NEC-T_1 = I_p \times 6 = 77 \times 6 = \underline{462 A}$$

$$NEC-T_2 = I_s \times 2.5 = 2624 \times 2.5 = \underline{6560 A.}$$

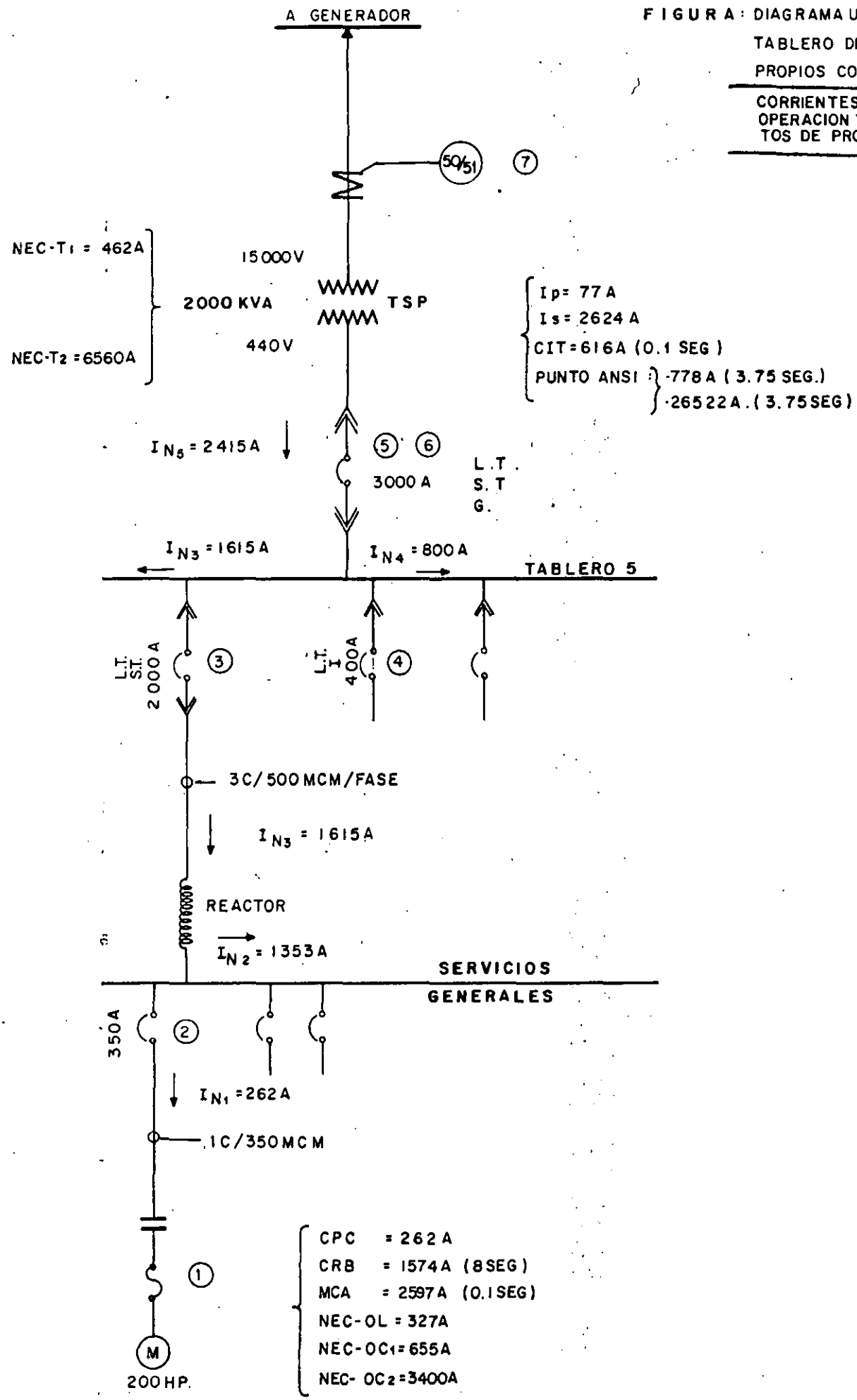
EL PUNTO ANSI SE DETERMINA EN BASE A LA TABLA DE LA PAGINA 5-30, Y COMO SE TRATA DE UNA IMPEDANCIA DE 5.75%, ESTE SERA DE 10.1 X Y 3.75 SEGUNDOS (CONEXION DELTA ESTRELLA), POR LO QUE

$$PUNTO ANSI = 10.1 \times 77 = 778 A.$$

(3.75 SEGUNDOS)

FIGURA: DIAGRAMA UNIFILAR DE  
 TABLERO DE SERVICIOS  
 PROPIOS CON:

CORRIENTES NORMALES DE  
 OPERACION Y REQUERIMIENTOS  
 DE PROTECCION





PASO N° 4. ELABORACION DE CURVAS TIEMPO CORRIENTE.A) CURVA TIEMPO CORRIENTE N° 1

MUESTRA LA PORCION DEL CIRCUITO MAS ALEJADA DE LA FUENTE, INCLUYENDO:

MOTOR DE 200 HP, CON SU PERFIL DE OPERACION (MCA, CRB, CPC Y DURACION). SE MUESTRA TAMBIEN LOS REQUERIMIENTOS NEC-OL Y NEC-OC.

CABLE DE 350 MCM. SE TRAZA SU CURVA DETERMINANDO DOS PUNTOS DE ELLA:

$$\left[ \frac{I}{\text{CM}} \right]^2 t = 0.0297 \log_{10} \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}$$

$$T_1 = 75^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 150^\circ\text{C}$$

PARA  $t = 0.01$  SEG.

$$I = 185,297 \text{ AMPERS}$$

PARA  $t = 0.1$  SEG.

$$I = 58,596$$

ELEMENTO TERMICO PARA PROTECCION DE SOBRECARGA AL MOTOR, TIPO CR224 DE GE, 270 A, AJUSTADO AL 100%. QUEDA ENTRE LA C. P.C. Y EL VALOR NEC-OL.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE 350 A., SIN AJUSTE TERMICO Y CON AJUSTE MAGNETICO A  $3500 \pm 10\%$  AMPERS; ESTE VALOR COINCIDE CON EL VALOR NEC-OC<sub>2</sub>. LA CURVA DEL INTERRUPTOR SE CORTA EN 23,113 A QUE ES EL CORTO CIRCUITO ASIMETRICO EN EL TABLERO DE SERVICIOS GENERALES.

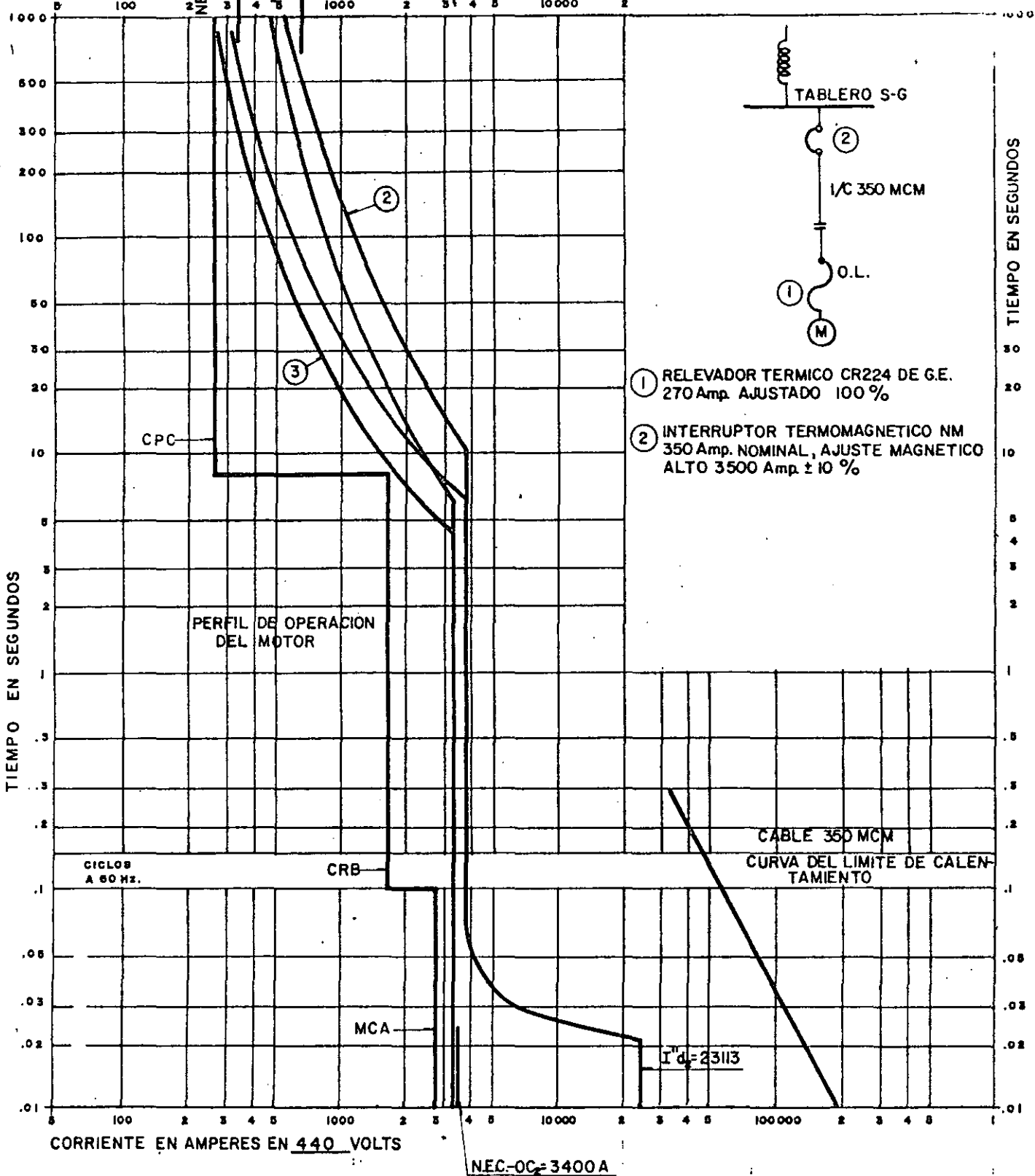
B) CURVA T.C. N° 2

SE MUESTRA LA COORDINACION ENTRE EL INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2 Y EL RELEVADOR DE ESTADO SOLIDO DEL ELECTROMAGNETICO 3. ESTE DIBUJO CONTIENE:

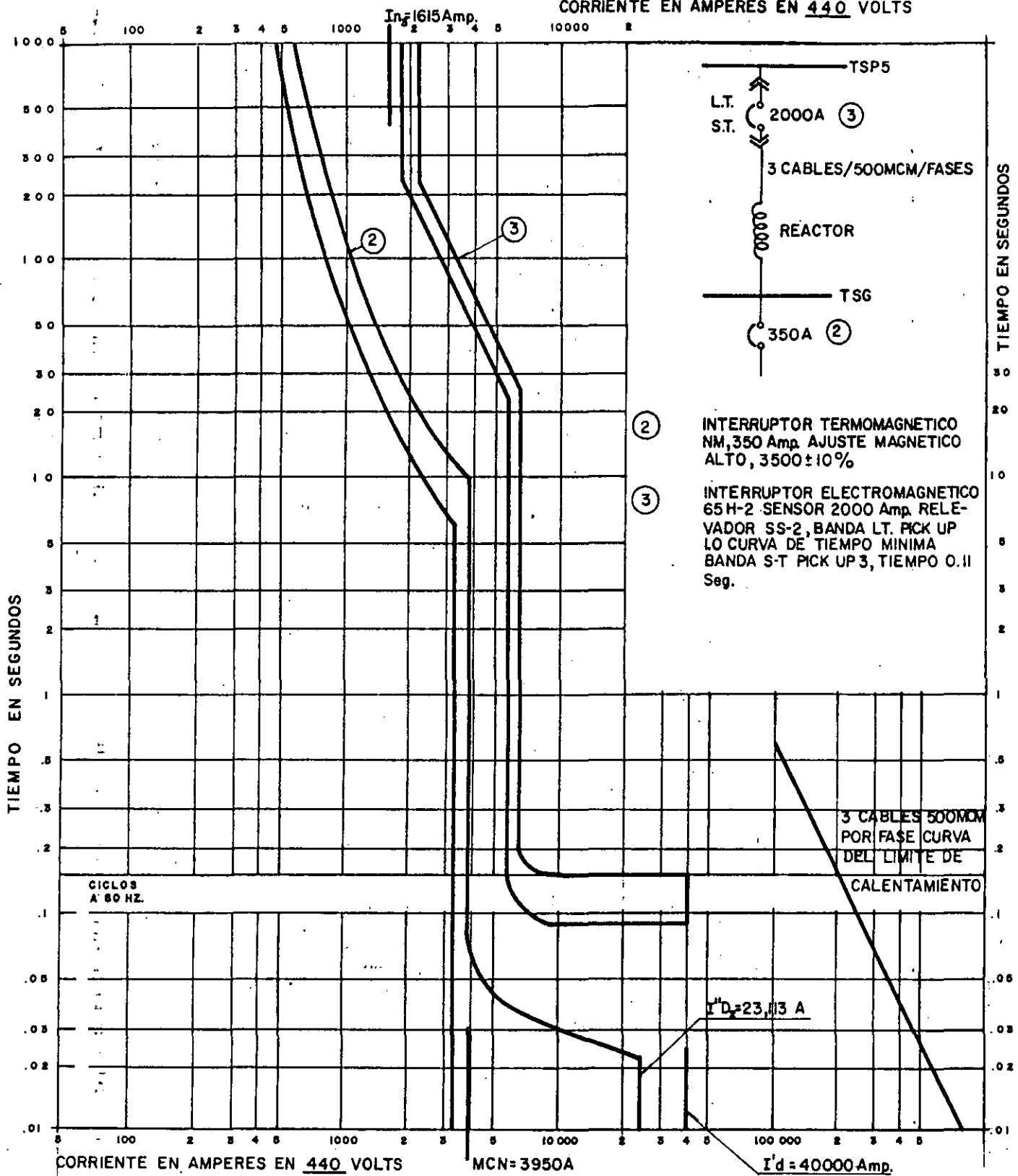
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 350 A.
- LIMITE DE CALENTAMIENTO DE 3 CABLES DE 500 MCM (1500 MCM)
- INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO, SENSOR A 2000 A., BANDA DE TIEMPO LARGO (L.T.) AJUSTADA A 1.0 LA CORRIENTE DEL SENSOR Y TIEMPO MINIMO; SE BUSCA ESTAR A LA DERECHA DE  $I_{N3}$  BANDA DE TIEMPO CORTO, AJUSTADA A 3 VECES (6000A) Y CURVA DE 0.11 SEG.; SE PROCURA ESTAR A LA DERECHA DE  $I_{N2} + MCA$  (3950 A). ESTA CURVA SE CORTA EN  $I_{D4} = 40,000$  A.

C) CURVAS TIEMPO CORRIENTE N° 3

SE REFIEREN A LA COORDINACION ENTRE LOS INTERRUPTORES -- ELECTROMAGNETICOS DERIVADOS Y EL PRINCIPAL DEL TABLERO N° 5 DE SERVICIOS PROPIOS.



<p>CURVAS TIEMPO-CORRIENTE</p> <p>No. 1</p>	<p><b>CURVAS TIEMPO-CORRIENTE</b></p>	<p>No. <b>1</b></p>
	<p>MOTOBOMBA DESAGUE, ALIMENTADOR, TERMOMAGNETICO EN TABLERO DE SERVICIOS GENERALES</p>	<p>FECHA _____</p>
	<p>_____</p>	<p>DIBUJADO POR _____</p>
	<p>_____</p>	<p>COMPONENTE <b>MOTO-BOMBA DESAGUE</b></p> <p>LOCALIZACION <b>TAB.SERVS. LOCALIZACION</b></p>



<p><b>CURVAS</b></p> <p><b>TIEMPO-CORRIENTE</b></p> <p><b>No 2</b></p>	<p><b>CURVAS TIEMPO-CORRIENTE</b></p>	<p>No. <b>2</b></p>
	<p>COORDINACION ENTRE INT. TERMOMAGNETICO DE</p>	<p>FECHA _____</p>
	<p>BOMBA DE DESAGUE E INT. ELECTROMAGNETICO</p>	<p>DIBUJADO POR _____</p>
	<p>525 SG</p>	<p>COMPONENTE INT. 525 SG</p>
		<p>LOCALIZACION TAB. 5 SP</p>

INTERRUPTOR DERIVADO, 400 AMPERES (Nº 4). BANDA INSTANTANEA: SE AJUSTA AL VALOR MAXIMO,  $12 X = 4800$  AMPERES, CON OBJETO DE TENER CIERTA SELECTIVIDAD CON LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS DEL TABLERO QUE ESTE INTERRUPTOR ALIMENTA. EN FALLAS MENORES A 4800 A., OPERAN LOS TERMOMAGNETICOS Y SI ESTA ES MAYOR, OPERAN TANTO PRINCIPAL COMO DERIVADOS. ESTA PORCION INSTANTANEA DE LA CURVA SE CORTA A 53,742 A., VALOR DE LA FALLA TRIFASICA ASIMETRICA EN ESE PUNTO. LA BANDA L.T. SE AJUSTA A 1.0X, CURVA MINIMA.

INTERRUPTOR PRINCIPAL, 3000 AMPERES, DISPOSITIVO DE PROTECCION DE FASE Nº 5. DEBE PROTEGER AL TRANSFORMADOR, Y SU BANDA L.T. DEBE QUEDAR A LA IZQUIERDA DE 250% DE  $I_S$  (6560 AMPERES).

-DEBE PERMITIR QUE EL TRANSFORMADOR LLEVE SU PLENA CAPACIDAD EN FORMA PERMANENTE, (2624 A.).

-DEBE PROTEGER A LAS BARRAS COLECTORAS, DE 3000 A.

-DEBE COORDINARSE CON LOS DISPOSITIVOS 3 Y 7

SE ESCOGE UN PICK-UP DE 1.0 Y LA CURVA MINIMA PARA LA BANDA L.T. LA BANDA DE TIEMPO CORTO SE AJUSTA A LA DERECHA DE LA BANDA S.T. DEL DISPOSITIVO Nº 3; SE ESCOGE  $3X = 9000$  A. Y UN AJUSTE DE TIEMPO DE 0.25 SEG. LA CURVA SE CORTA A 40,000 AMPERS, VALOR DE LA CORRIENTE TRANSITORIA  $I'_{D4}$

BANDA DE TIERRA, G.

TIENE POR OBJETO PROTEGER CONTRA FALLAS DE ARQUEO.

LA FALLA PROBABLE MINIMA DE ARQUEO ES EL 19% DE LA FALLA TRIFASICA:

$$I_{ARC} = 0.19 \times 51,000 \quad (\text{EL VALOR DE FALLA ESTA TOMADO DE CALCULOS QUE NO APARECEN - AQUI})$$

$$I_{ARC} = 9690 \quad (\text{VALOR MINIMO})$$

POR LO TANTO, EL VALOR DE FALLA PUEDE VARIAR DESDE 9,690 HASTA 51,000 ASIMETRICOS. ¿QUE DAÑOS CAUSA ESTO AL EQUIPO? LA EXPRESION:

$$I_N \times 250 = I_{ARC}^{1.5} \cdot t$$

EXPRESA LOS DAÑOS.

PARA UN CIRCUITO DE 400 A :

$$I_{ARC}^{1.5} \cdot t = 400 \times 250 = 100,000$$

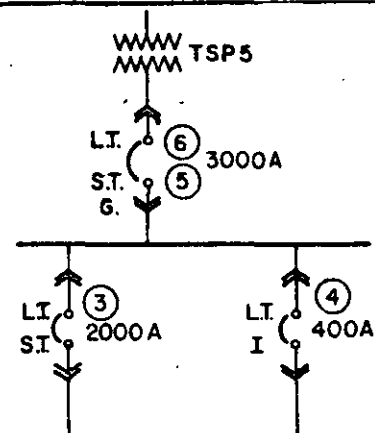
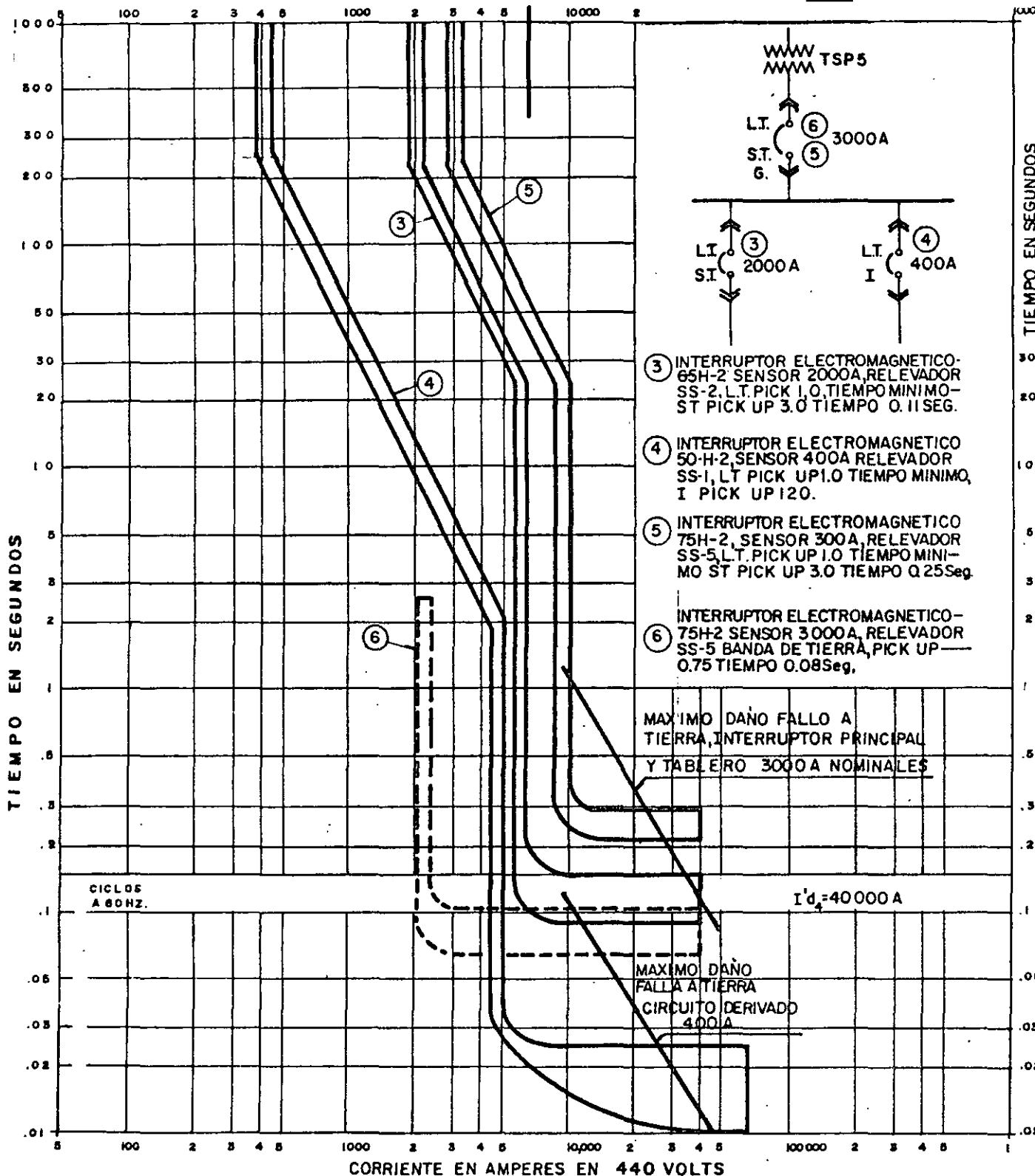
$$\text{SI } 9,690 < I_{ARC} < 51,000$$

SE CALCULA LA CURVA Y SE TRAZA .

PARA UN CIRCUITO DE 3000 A:

$$I_{ARC}^{1.5} \cdot t = 3000 \times 250 = 750,000$$

$$\text{DONDE } 9,690 < I_{ARC} < 51,000$$



- ③ INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO-65H-2 SENSOR 2000A, RELEVADOR SS-2, L.T. PICK UP 1.0, TIEMPO MINIMO ST PICK UP 3.0 TIEMPO 0.11SEG.
- ④ INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO 50-H-2, SENSOR 400A RELEVADOR SS-1, LT PICK UP 1.0 TIEMPO MINIMO, I PICK UP 120.
- ⑤ INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO 75H-2, SENSOR 300A, RELEVADOR SS-5, L.T. PICK UP 1.0 TIEMPO MINIMO ST PICK UP 3.0 TIEMPO 0.25Seg.
- ⑥ INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO-75H2 SENSOR 3000A, RELEVADOR SS-5 BANDA DE TIERRA, PICK UP 0.75 TIEMPO 0.08Seg.

<p><b>CURVAS</b></p> <p><b>TIEMPO-CORRIENTE</b></p> <p><b>No. 3</b></p>	<p><b>CURVAS TIEMPO-CORRIENTE</b></p>	<p>NO. <b>3</b></p>
	<p>COORDINACION ENTRE INTERRUPTORES ELECTRO-</p>	
	<p>MAGNETICOS PRINCIPAL Y DERIVADOS EN TABLERO</p>	
	<p>RO 5 DE SP.</p>	
<p>FECHA _____</p>		<p>DIBUJADO POR _____</p>
<p>COMPONENTE _____</p>		<p>INTS. VARIOS</p>
<p>LOCALIZACION _____</p>		<p>TAB. 5 SP.</p>

AJUSTANDO LA PROTECCION DE TIERRA A  $0.75X = 0.75X 3000 = 2250$  Y LA CURVA DE TIEMPO A 0.08 SEG, SE PROTEGE CONTRA DAÑOS EN EL CIRCUITO DE 3000 A. EL CIRCUITO DE 400 A. SOLO QUEDA PROTEGIDO MEDIANTE SU BANDA INSTANTANEA.

D) CURVAS TIEMPO CORRIENTE N° 4

SE COORDINAN EL RELE IAC 53 B EN 15 KV, CON EL RELE DE ESTADO SOLIDO DEL INTERRUPTOR PRINCIPAL EN BAJA TENSION.

LA TENSION BASE ES DE 15 KV, Y TODAS LAS CORRIENTES SE CALCULAN EN ESA BASE:

$$3000 \text{ AMPERS} - - - - - \rightarrow 3000 \times \frac{440}{15000} = 88 \text{ A.}$$

ASI SE PROCEDE PARA LOS DEMAS VALORES, TRANSPORTANDO CON ESTO LOS VALORES EN B.T. AL LADO DE 15 KV.

RELEVADOR 50/51. SE DEBE DE AJUSTAR CONSIDERANDO LO SIGUIENTE:

- DEBE COORDINARSE CON EL INTERRUPTOR EN BAJA TENSION.
- DEBE QUEDAR A LA IZQUIERDA DEL VALOR FIJADO POR EL NEC PARA ALTA TENSION (400%  $I_p$ , 308 A.)
- DEBE OPERAR ANTES DEL PUNTO ANSI.

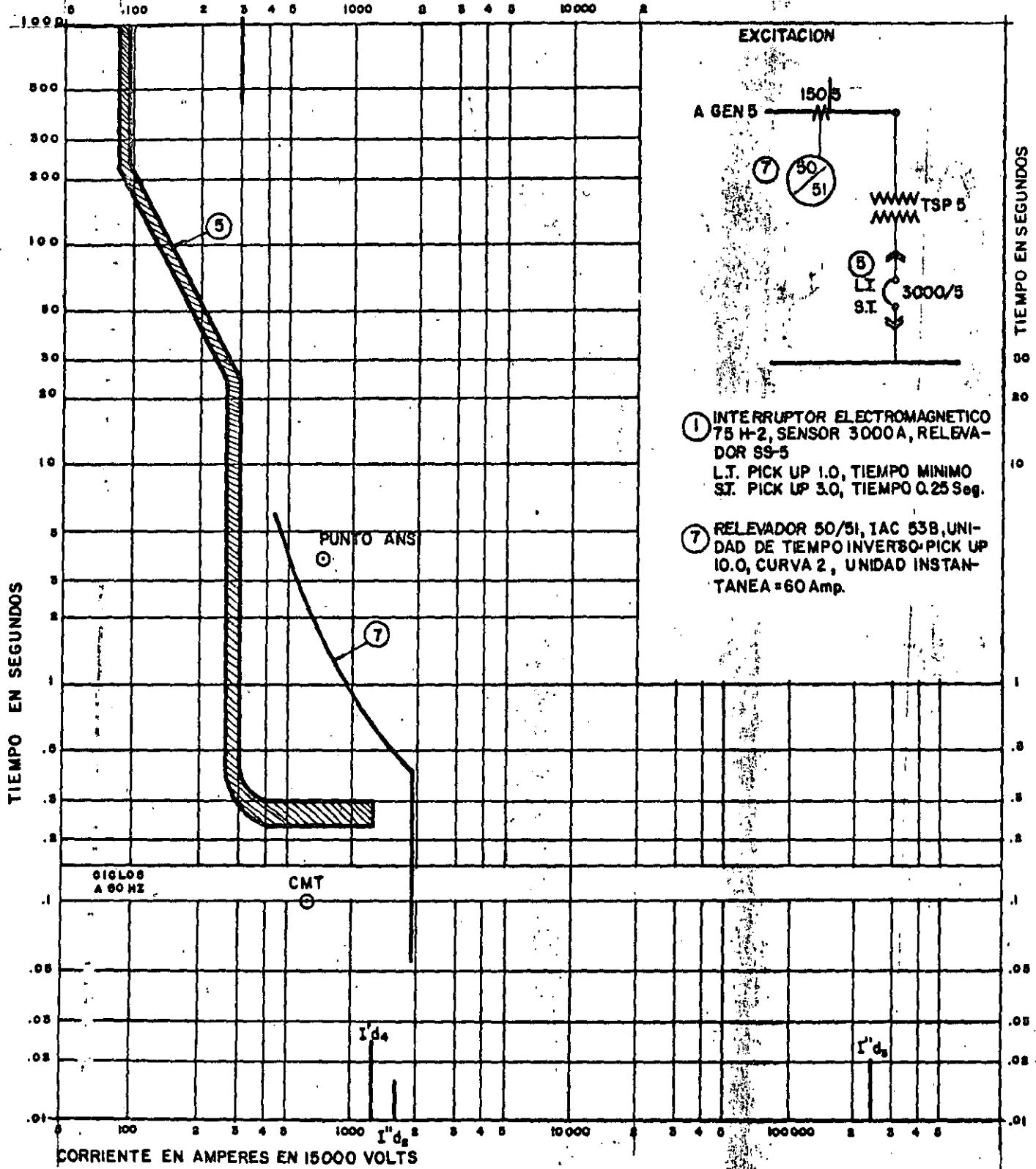
PARA CUMPLIR CON LO ANTERIOR, EL RELEVADOR SE AJUSTA A UN PICK-UP DE 300 A PRIMARIOS (DADA LA RELACION DE LOS T.C., -



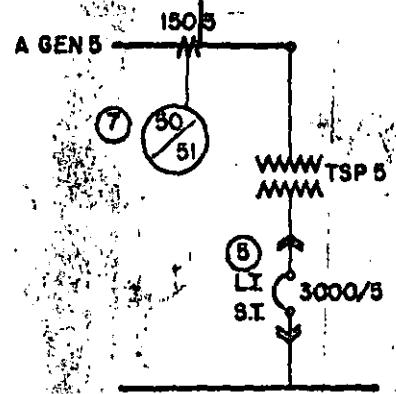
150/5 = 30, EL "TAP" DEBE SER 10). LA CURVA DE TIEMPO SELEC--  
CIONADA ES LA N° 2.

DADO QUE ESTE RELEVADOR 50/51 ES SENSIBLE A LAS FALLAS -  
SUBTRANSITORIAS Y ASIMETRICAS, EL INSTANTANEO DEBE DE AJUSTAR--  
SE A UN VALOR MAYOR QUE 53,742 A., O SEA LA CORRIENTE DE FALLA  
EN EL SECUNDARIO (1576 A., REFERIDO AL PRIMARIO). SE SELECCIO  
NA UN AJUSTE DE 60 AMPERES, EQUIVALENTES A:

$$60 \times \frac{150}{5} \times \frac{15,000}{440} = 61,363 \text{ A.}$$



EXCITACION



- ① INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO 75 H-2, SENSOR 3000A, RELEVADOR S9-5  
L.T. PICK UP 1.0, TIEMPO MINIMO S.T. PICK UP 3.0, TIEMPO 0.25 Seg.
- ⑦ RELEVADOR 50/51, IAC 53B, UNIDAD DE TIEMPO INVERSO-PICK UP 10.0, CURVA 2, UNIDAD INSTANTANEA = 60 Amp.

<p><b>CURVAS</b></p> <p><b>TIEMPO-CORRIENTE</b></p> <p>No. 4</p>	<p><b>CURVAS TIEMPO-CORRIENTE</b></p> <p>COORDINACION ENTRE RELEVADOR 50/51, LADO 15 000V. E INTERRUPTOR PRINCIPAL LADO 440V.</p>	<p>No. 4</p> <p>FECHA _____</p> <p>DIBUJADO POR _____</p> <p>COMPONENTE RELEVADOR E INT.</p> <p>LOCALIZACION TAB. DUPLEX Y TSP 5</p>
--	---	--

ANEXO N° 4 DEL REPORTE TECNICO.  
 FALLA EN EL TABLERO "D" DEL SERVICIO DE ESTACION DE LA S. E.  
 NONOALCO.  
 TIPOS DE FALLAS EN BAJA TENSION.

---

Falla  
 franca ó  
 sólida

{ Limitada por la impedancia del sistema. Raramente ocurre en circuitos prácticos. 3 Ø, 2 Ø, Ø-T.

Falla de  
 arqueo.

{ Puede originarse entre fases pero inevitablemente involucrará la -- tierra. Puede ser causada por fa--- llas de aislamientos, accidentes de construcción, roedores, etc.

Corrientes de  
 fuga en aislam<sub>ie</sub>  
 mientos.

{ Del orden de miliampers, sucede en herramientas portátiles, aparatos - electrodomésticos, etc.

La falla de Nonoalco fué una falla de arqueo.

¿ Qué son estas fallas?

FALLAS DE ARQUEO

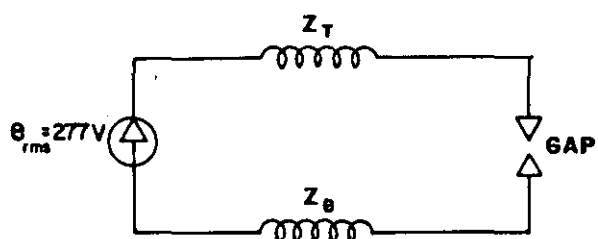
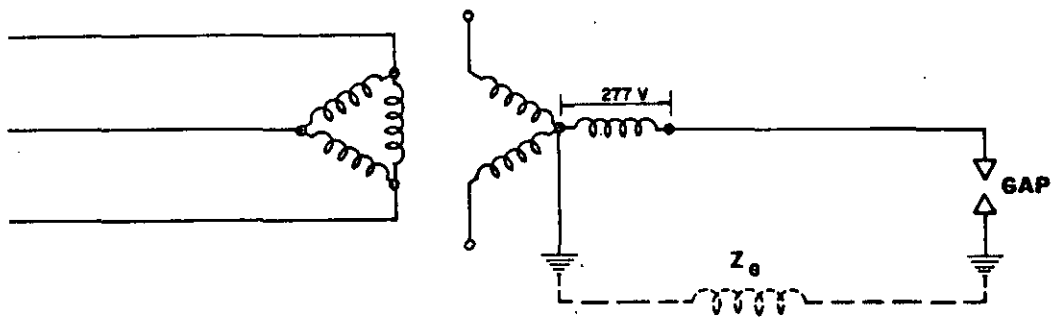
- \* Aunque la falla se origine entre fases, inevitablemente se manifestará a tierra.
- \* El valor de la falla sólida a tierra:

$$I_F = \frac{3 E_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_\theta}$$

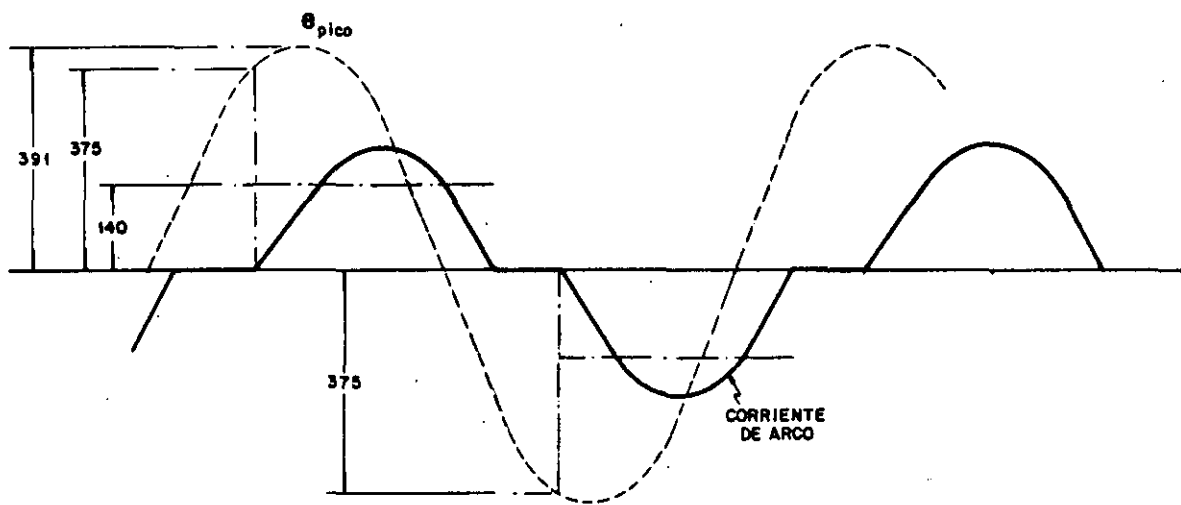
Z1-Sec(+)  
 Z2-Sec(-)  
 Z0-Sec(0)  
 Z $\theta$ -Impedancia  
 circuito de  
 tierra va--  
 riable.

- \* Cuando la falla no es sólida, existe un arco cuya corriente es un % de la falla sólida, pero de un valor de  $I_{ARC}$  y  $V_{ARC}$  diffi-  
ciles de predecir. Sin embargo, las recomendaciones de protec-  
 ción aconsejan situar el valor mínimo entre un 19% a un 38% de  
de la falla sólida en un sistema de 480/277 V. más abajo de -  
 este rango se considera que la falla se autoextingue.
- \* Dado los bajos valores que pueda tener  $I_{ARC}$ , es probable que -  
 la protección de sobrecorriente de fase (PSCF) no la detecte.
- \* Si esto sucede, la corriente puede durar varios segundos ó - -  
 minutos y su efecto es altamente destructivo, dada la gran can-  
tidad de energía que se libera a través del arco y no se disi-  
 pa en el resto del sistema (buses, cables, etc.) como en el - -  
 caso de la falla sólida.
- \* Otra caracterfstica de las fallas de arqueo es que en la inmen-  
sa mayoría de los casos se presenta exclusivamente en sistemas  
 de 480/277 V, debido a que la tensión teórica necesaria para -  
 la reignición del arco es 375 volts y este sistema si la pro--  
 porciona ( $277 \times \sqrt{2} = 391 > 375$  V)

MODELO TEORICO DE LA FALLA



TENSION EN EL GAP  
 MAYOR DE 375 V → NO HAY CHISPA  
 MENOR DE 375 V → SI HAY CHISPA



$$I_{\phi-T} = 20,000 \text{ A}$$

$$I_{ARC} = 7600 \text{ A (38\%)}$$

$$V_{ARC} = 140 \text{ V}$$

Así resulta que es teóricamente poco probable que en un sistema de 220/127 volts se presente una falla de arqueo y no se -- autoextinga. Las recomendaciones no aconsejan proteger contra este tipo de falla en sistemas de 220/127 V: (NEC, etc.) sin embargo existen algunos casos reportados donde estas fallas no se autoextinguieron...y el caso de Nonoalco es uno de ellos.

\* ¿Como se debe proteger un circuito contra fallas de arqueo a tierra?

1° Calibrar si las condiciones de carga lo permiten, la P.S.C. F. entre un 19 - a un 38 % del valor de la falla sólida - - (para efectos prácticos) si estamos cerca del transformador

$$I_{\text{FASE A TIERRA}} = I_{30}$$

2° Si las condiciones de carga o de coordinación no permiten calibrar la PSCF en forma adecuada, se recomienda un sistema de protección de fallas a tierra.

\* Sistemas de protección de fallas a tierra (PFAT)

- Desbalanceo de tensiones en  $\Delta$  abierta.
- Corriente residual
- Sensor dona abrazando tres fases y neutro.
- Sensor corriente de regreso neutro transformador.

Ya se ha seleccionado el equipo, ¿existe algún criterio para -- determinar la frontera de los daños admisibles en fallas a -- tierra? SI:

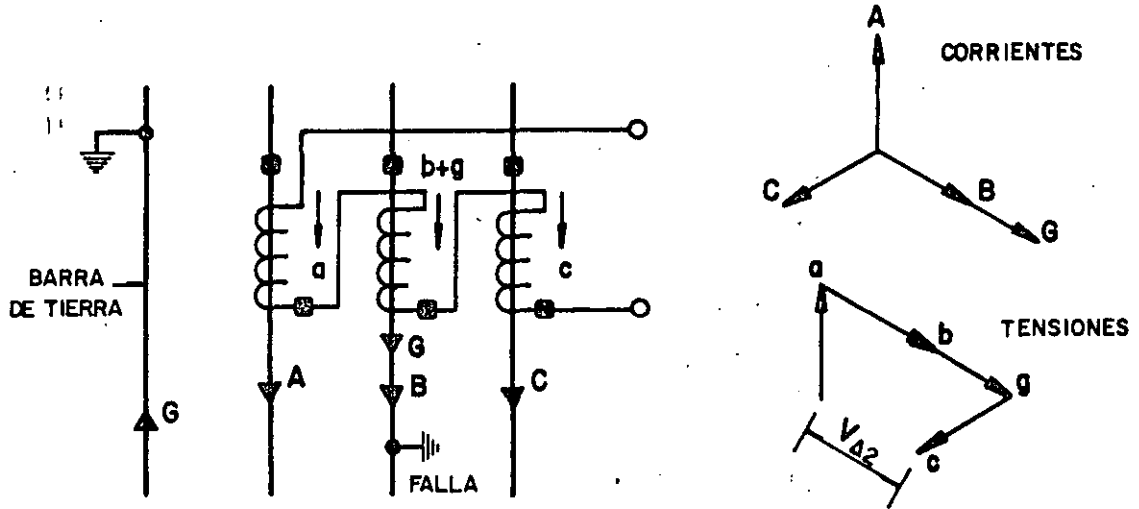
$$250 I_n = I_{\text{arc}}^{1.5} \times t$$

ALUMINIO :  $Y = 1.519 \times 10^{-6} I_{\text{arc}}^{1.5}$  (pulg-cub-seg)

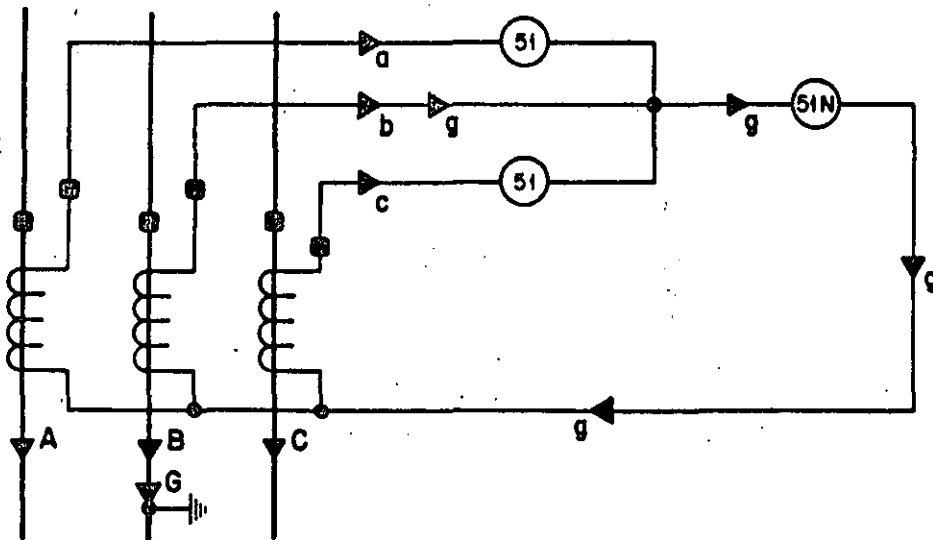
COBRE :  $Y = 0.723 \times 10^{-6} I_{\text{arc}}^{1.5}$  (pulg-cub-seg)

envolvente  
de :  $Y = 0.6564 \times 10^{-6} I_{\text{arc}}^{1.5}$  (pulg-cub-seg)  
acero

SISTEMAS DE P.F.A.T.

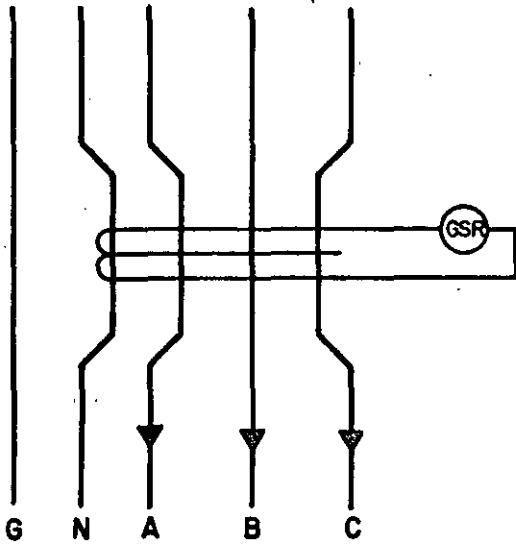


DELTA ABIERTA



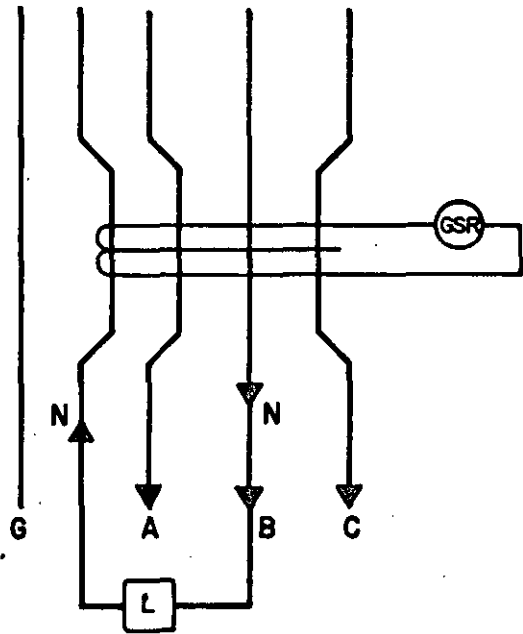
CORRIENTE RESIDUAL





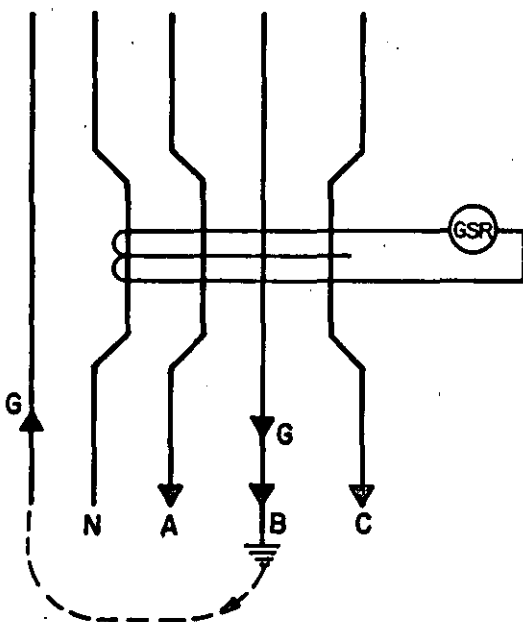
SENSOR DE TIERRA

(CORRIENTES BALANCEDAS)



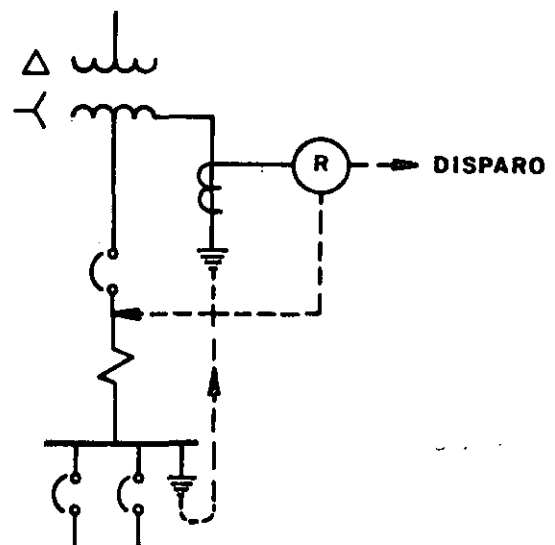
SENSOR DE TIERRA

(MAXIMO CASO DE DESBALANCEO)



SENSOR DE TIERRA

(CONDICION DE FALLA, EL RELEVADOR OPERA)



PROTECCION EN REGRESO

CIRCUITO DE TIERRA



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

ANEXO AL TEMA 9: PROTECCION CON FUSIBLES

ING. MAURICIO SIERRA DUFONT

MAYO, 1985

## FUSIBLES EN BAJA TENSION:

Los fusibles en baja tensión se dividen en (4) cuatro grandes categorías:

1.- FUSIBLE TIPO CARTUCHO: Diseñado para la protección de circuitos derivados o alimentadores de fuerza o alumbrado, de acuerdo al código nacional eléctrico (NEC): Clase H, G, K-1, K-5, K-9, J, L, RK1, RK5, T Y CC.

2.- FUSIBLES DE TAPON: Diseñado para la protección de circuitos de fuerza y alumbrado de acuerdo al código nacional eléctrico (NEC): Base-Edison y tipo S, nominados a 125 Volts C.A. y 30 Amps máximos.

3.- FUSIBLES DISEÑADOS PARA PROTECCIÓN SUPLEMENTARIA: Por sobrecorriente, donde no están involucrados circuitos derivados o cualquier otra aplicación equivalente. Estos son generalmente, fusibles tipo miniatura para la protección de equipo electrónico pequeño ó equipo de uso doméstico.

4.- FUSIBLES ESPECIALES TIPO RECTIFICADOR: Diseñados para protección suplementaria por sobrecorriente donde no están involucrados circuitos derivados ó cualquier otra aplicación equivalente, estos fusibles son para protección de equipo eléctrico tal como capacitores, rectificadores para uso industrial y para interruptores termomagnéticos integrados con fusible.

Sobre la primera categoría, los fusibles tipo cartucho será de la que hablaremos en esta ocasión:

Los Fusibles tipo Cartucho están incluidos en las siguientes Normas:

NEMA FU 1 - 1972.	LOW VOLTAGE CARTRIDGE FUSES.
UL - 198	STANDARDS FOR SAFETY - FUSES.
UL - 198B	STANDARDS FOR SAFETY - CLASS H FUSES.
U1 - 198.2	STANDARDS FOR SAFETY - HIGH INTERRUPTING CAPACITY FUSES, - CURRENT LIMITING FUSES.

UL - 198.3 STANDARDS FOR SAFETY - HIGH INTERRUPTING CAPACITY CLASS  
K FUSES.

UL - 198.4 STANDARDS FOR SAFETY - CLASS R FUSES.

Estos en su gran mayoría están diseñados para 2 tensiones nominales --  
250 V y 600 Volts. Los fusibles para 250V., pueden ser utilizados en --  
circuitos con 120, 240/120, 208/120, 208, 220/127, 220 y 240 Volts.

Los fusibles para 600 V., pueden ser instalados en los mismos circuitos  
aplicables a 250V., además de para circuitos con, 277, 254, 480/277, --  
440/254, 440, 480, 550 y 575 Volts.

#### TERMINOLOGIA:

Hablaremos algo sobre algunos términos más comunes en el medio:

AMPERES NOMINALES: Es la corriente que el fusible conduce continuamente  
sin deteriorarse y sin exceder la sobreelevación de temperatura en los  
límites especificados para ese fusible.

ANSI: (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE INC.): Actúa como una Ins-  
titución Coordinadora para normalización voluntaria.

CASQUILLO O FERULA: Es la terminal cilíndrica metálica del fusible, la-  
cual también aloja el extremo del eslabón fusible. Este diseño sólo se  
emplea normalmente en fusibles hasta 60 Amps. El casquillo se fabrica  
de cobre o de latón. ¿Cómo se llama en los fusibles de 100 A. y más?

CAPACIDAD INTERRUPTIVA: (CI). Es un valor basado en el mayor valor de -  
corriente alterna RCM (o corriente continua) el cual debe interrumpir -  
el fusible bajo las condiciones especificadas por las normas. Después -  
de interrumpir la corriente de falla, el cartucho no deberá tener cuar-  
teaduras, no deberá dañar a los portafusibles y no deberá hacer arqueo-  
de extremo a extremo en la parte exterior del fusible.

El valor o rango interruptivo, en sí mismo, no tiene relación directa -  
con el efecto de limitación de corriente del fusible.

CORRIENTE ASIMETRICA: (aplicada únicamente a CA). La corriente asimétri-  
ca es aquella que tienen una onda senoidal fuera del eje de simetría de

bido a una componente de CC. sobrepuesta. Una corriente asimétrica dará como resultado mayores valores de corriente de circuito corto que una corriente simétrica.

CORRIENTE SIMETRICA: Es una corriente con una onda simétrica respecto al eje cero. Este término se aplica a corriente alterna únicamente.

CORRIENTE PICO DE FUGA: Es la corriente máxima instantánea que pasa a través de un fusible durante el tiempo total de apertura. Dado que este será menor que la corriente de pico disponible si no hubiera fusible en el circuito.

CORRIENTE RCM: Literalmente significa "Corriente Raíz Cuadrática Media" Es el valor eficaz de una corriente alterna, el cual es calculable como la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de todos los valores instantáneos de corriente en un ciclo. La corriente alterna RCM es --- aquel valor de una corriente alterna la cual produce el mismo efecto de calentamiento que un valor dado de corriente continua.

DIMENSIONES "CNE": Son las dimensiones especificadas por el Código Nacional Eléctrico, pero que ahora se encuentran en la tabla III de las normas UL (Underwriters' Laboratories) para fusibles No. 198. Estas dimensiones son comunes para los fusibles clases H y K y aseguran que -- los fusibles sean intercambiables entre los diferentes fabricantes para un valor dado en amperes y volts. (ver tamaño de cartucho).

ESLABON FUSIBLE: Es el elemento responsable de la corriente en un fusible, el cual se diseña para fundirse bajo condiciones de falla y así interrumpir el circuito. Un "eslabón renovable" es aquel que se usa en fusibles renovables.

FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE: Es un cartucho fusible, el cual podrá interrumpir todas las corrientes disponibles dentro de su rango interruptivo, dentro del alcance de sus valores de limitación de corriente limita el "Tiempo de Apertura" a tensión nominal a un intervalo igual o menor que el mayor primer 1/2 ciclo o primer pico simétrico y limita la corriente pico de fuga a un valor menor que la corriente pico que sería posible si el fusible fuera reemplazado por un conductor sólido de la misma impedancia. Nótese que la limitación de corriente únicamente

te es efectiva a un valor específico de corriente. Los Laboratorios Underwriters' (UL), únicamente reconocen y permiten etiquetar a las clases J y L como "Limitadores de corriente", aún cuando los fusibles de la clase K son, de hecho, limitadores de corriente en cierto grado.

FUSIBLES DOBLE ELEMENTO: Son los cartuchos fusibles que tienen elementos responsables de la corriente de dos diferentes características de fusión en serie, en un sólo cartucho. Uno de estos elementos puede consistir de dos componentes, uno a cada extremo del segundo elemento, para obtener un mejor balance del calor generado. Esta construcción es normalmente usada en los fusibles con "retardo de tiempo".

FUSIBLES TIPO NAVAJA: Es la construcción de los fusibles arriba de 60 Amps. Las terminales en cada extremo son barras planas de cobre pulido y centradas al eje del tubo.

FUSIBLES DE UNA OPERACION: "One time". Estrictamente hablando, son todos aquellos fusibles no renovables, pero generalmente este término se emplea para describir cualquier fusible clase H, no renovables el cual tiene un sólo elemento fusible y adecuado para interrumpir fallas no mayores de 10,000 Amps. RCM.

FUSIBLES RENOVABLES: Es un fusible en el cual el elemento, generalmente un eslabón, puede ser remplazado después que el fusible ha abierto. Este tipo de fusible gradualmente ha ido perdiendo popularidad en México por el hecho de que no puede interrumpir con seguridad más de 10,000 Amps. Además los eslabones sobrados de capacidad pueden dar lugar a una condición insegura para el equipo y el personal.

FUSIBLE PLATA - ARENA: Este término, no muy comunmente empleado se refiere a cualquier fusible compuesto de eslabones de plata y arena desílice como material de relleno. Todos los fusibles limitadores de corriente modernos tienen este diseño.

I<sup>2</sup>T (I CUADRADA T): Es la medida de la energía calorífica generada en un circuito durante la fusión o apertura de un fusible generalmente se donomina "Fusión" I<sup>2</sup>T". Donde "I" es la corriente efectiva de fuga (la cual está al cuadrado) y "t" es el tiempo en segundos. Por-

Lo tanto  $I^2t$  se expresa como "amp.<sup>2</sup> seg." el empleo de  $\times 10^3$  después del valor significa simplemente "agregar 3 ceros"; por ejemplo 20 amp.<sup>2</sup>-seg.  $\times 10^3$  es igual a 20,000 amp.<sup>2</sup> seg.

LIMITADOR DE CORRIENTE: Es un elemento diseñado para funcionar únicamente en corriente de falla de alta magnitud y el cual no operará en sobrecargas menores sin considerar el tiempo. Tal aparato deberá ser siempre usado en serie con un fusible o interruptor para que estos últimos protejan contra sobrecargas o circuitos cortos menores. Un caso típico es el de los interruptores en caja moldeada con fusibles integrales.

NEMA: Es la "National Electrical Manufacturers Association", la cual establece las normas con que la Industria Eléctrica elimina la posible incomprensión entre fabricantes de equipo y el usuario o comprador y para asistir al comprador en la selección del equipo. Estas son normas voluntarias que complementan pero no suplen a las normas UL.

NORMAS UL: Las normas UL (Underwriters' Laboratories) se formaron para asistir a las compañías aseguradoras estableciendo los principios y luego certificando los productos y materiales que cumplieran con las mismas. La organización es ahora patrocinada por la "American Insurance Association". Dado que las normas UL no abarcan todo el equipo eléctrico, se complementan con las normas NEMA u otras cuya naturaleza se debe verificar para determinar su valor tanto técnico como de carácter legal.

RETARDO: Este término se aplica a los tiempos de apertura de un fusible en exceso de un ciclo donde el tiempo puede variar dentro de las normas establecidas.

SOBRECARGA: Generalmente empleada para referirse a una sobrecorriente la cual no es de suficiente magnitud para ser considerada como un circuito corto. Una sobrecarga es normalmente aquel valor de sobrecorriente de 101% del valor nominal del fusible a 500% del mismo valor.

TIEMPO DE ARQUEO: Es el tiempo comprendido entre la fusión del elemento responsable de la corriente (tal como el eslabón fusible) a la apertura final del circuito. Este tiempo dependerá de factores tales

como tensión y reactancia del circuito.

TIEMPO DE APERTURA: Es el tiempo total transcurrido entre el principio de la sobrecorriente específica y la interrupción final del circuito, a tensión nominal. Es la suma del "tiempo de fusión" y el "tiempo de arqueo". Para tiempos de apertura mayores a 1/2 ciclos, este tiempo es substancialmente el tiempo de fusión.

TIEMPO DE FUSION: Es el tiempo requerido por la corriente para fundir el elemento sensible a ella en una sobrecarga específica. Donde el tiempo de fusión excede 1/2 ciclo, éste es aproximadamente igual al tiempo de apertura. Donde un fusible está limitando la corriente a menos de 1/2 ciclo, el tiempo de fusión puede ser aproximadamente la mitad o menos del tiempo de apertura. (Algunas veces es llamado "tiempo de pre-arqueo").

TIEMPO RETARDADO: Este término es en la actualidad empleado por las normas NEMA y UL para definir, en cartuchos fusibles, un tiempo mínimo de apertura de 10 segundos en una sobrecarga de 500% del valor nominal del fusible. Este retardo de tiempo es necesario para permitir la corriente de arranque o corriente de rotor bloqueado momentánea de los motores eléctrico. En los fusibles tipo "Tapón", el término "Tiempo Retardado" es interpretado por las normas UL como un mínimo tiempo de apertura de 12 segundos en una sobrecarga de 200% del valor nominal del fusible.

TENSION NOMINAL: Es la tensión de la corriente alterna RCM (o la corriente continua), al cual se diseña el fusible para operar. Todos los fusibles funcionan con seguridad en cualquier tensión menor, pero el empleo en tensiones mayores al nominal puede ser peligroso. Bajo altos valores de corriente de circuito corto, un incremento en la tensión ocasionará un incremento en los tiempos de arqueo y apertura

TAMAÑO DE CARTUCHO: Los fusibles se fabrican dentro de un cartucho de tamaño normalizados: 30, 60, 100, 200, 400, 600, 800, 1,200, 1,600, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000 y 6,000 Amps. Cada cartucho está diseñado para acomodar un listón fusible cuyo valor nominal en amperes, es decir un cartucho de 60 amperes puede acomodar en su interior un listón fusible de 35, 40, 45 50, ó de 60 amperes nominales.



El tamaño del cartucho varía también en longitud y en diámetro, debido a la tensión nominal, corriente nominal y clase de fusibles.

CLASE DE FUSIBLES:

LAS CLASES DE FUSIBLES SON LAS SIGUIENTES:

FUSIBLES CLASE H: El fusible clase H, cumple con las normas UL-198B, - ésta es la única norma de UL, que reconoce ambos fusibles (renovables y no renovables) apropiados para la protección de circuitos de fuerza y alumbrado. Su corriente nominal va de 0 a 600 Amps., tensión nominal es 250V. y 600V.

El párrafo 11.7 de ésta norma indica que "tanto el fusible como la carga no deberán tener impreso ni implicar, que tiene capacidad interruptiva o que es limitador de corriente". Estos fusibles son probados en corto circuito, en un circuito de corriente alterna con una fuente capaz de suministrar 10,000 amps. RCM simétricos. La prueba se efectúa con un factor de potencia relativamente alto, de 0.45 a 0.50 - para fusibles de 110 amps. a 600 amps y 0.85 a 0.95 para fusibles de 100 amperes o menores.

Estos fusibles no pueden utilizarse en circuitos de corriente directa los fusibles no renovables no tienen características tiempo retardo. Esta clase es intercambiable con los fusibles clase K-1, K-5 y K-9; - es decir que tienen las mismas dimensiones en el diámetro y longitud.

FUSIBLES CLASE G: Los fusibles clase G fueron desarrollados para uso en tableros de alumbrado, con un dispositivo de desconexión del fusible. Estos son fusibles no renovables para ser utilizados únicamente en el circuito de corriente alterna donde el corto circuito disponible - no es superior a 100,000 amperes. RCM simétricos. Únicamente 2 fabricantes de fusibles los producen en EEUU y tienen una corriente nominal de 0 a 60 amps. Y con una tensión nominal de 300 volts máximos.

Estos fusibles cumplen con las normas UL-198.2. Son no intercambiables; es decir que no tienen las mismas dimensiones de los clase K, - K-1, K-5 y K-9.

Los fusibles clase "G" tienen cierta capacidad de limitación de co---

riente por lo que pueden ser marcados como limitadores, la norma UL-198.2 determina los valores de energía  $I^2t$  de fuga, permitido. Además determina que el valor de tiempo retardo no sea mayor de 12 segundos con 2 veces la corriente nominal. Es importante mencionar que los fusibles K-5 y K-9 tienen un tiempo retardo de 10 segundos con 5 veces la corriente nominal.

FUSIBLES CLASE "K": Estos fusibles son no renovables y cumplen las normas UL-198.3. Se definen 3 clasificaciones:

CLASE K-1, K-5 y K-9. Todos se fabrican para 250V. y 600V. de corriente alterna y son no renovables en todos los casos. La capacidad interruptiva varía de 50,000, 100,000 ó 200,000 Amperes RCM simétricos. Los fusibles clase K como se había ya mencionado, son intercambiables por los clase "H".

Los fusibles clase K1, otorgan el mayor grado de limitación de esta clase K; los fusibles clase K5 otorgan un grado moderado de limitación y los fusibles clase K9, el menor grado de limitación.

Los fusibles clase K9, han sido descontinuados por la mayoría de los fabricantes. De cualquier forma, muchos, miles de ellos continúan operando como protección en los equipos existentes y existe suficiente literatura y curvas de fusión tiempo corriente, curvas de energía de fuga disponibles para usted, en el momento que lo desee.

Los fusibles clase K-5 y K-9, pueden seleccionarse ya sea "rápidos" ó "tiempo retardo" (los fusibles K-1 se fabrican únicamente tipo "rápido"). La palabra "tiempo retardo" estampada en el fusible indica que el fabricante cumple con la norma UL, de fundirse en 10 segundos con una sobrecarga del 500% de su corriente nominal. La palabra "rápido" (designación del autor) significa que la característica de fusión no cumplen con la prueba U.L. de "tiempo retardo". Debido al hecho de que todos los fusibles clase K, requieren tener un valor predeterminado de "corriente de fuga", máximo en amperes cuadrados segundo; se clasifican como "limitadores de corriente". La norma U.L. no permite que sean marcados como tales debido a que son intercambiables con los fusibles clase "H".

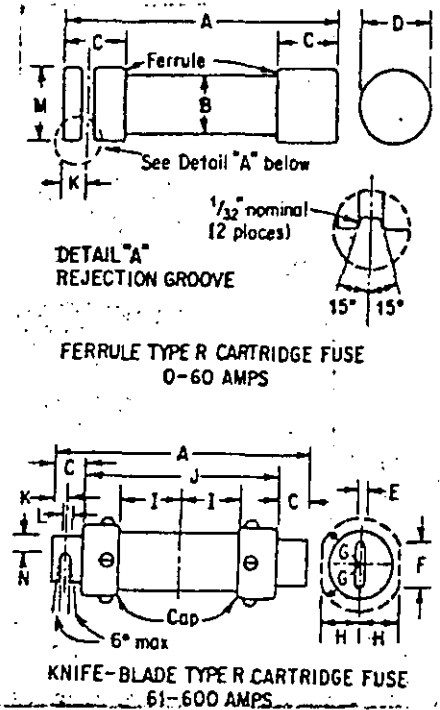
FUSIBLES CLASE "R": Esta clasificación es relativamente nueva y se dá a los fusibles que cumplen con la norma U.L. - 198.4, cuya primera --

edición data de mayo 30, 1973. Estos fusibles son de construcción no renovables y los hay desde 0 hasta 600 amperes, dimensionados para - 250 Volts. de C.A. y 600 V.C.A., tienen capacidad interruptiva de -- 200,000 Amperes RCM, simétricos.

**DIMENSIONES DE FUSIBLES (PULGADAS)**

Rated volts	Rated amperes	J	K	L	M	N
250	0-30		5/32	5/64	3/8	
	31-60		3/16	3/32	5/8	
	61-100	3 3/8	1/2	9/32		1/4
	101-200	4 1/8	11/16	9/32		7/16
	201-400	4 5/8	15/16	13/32		5/8
	401-600	5 3/16	1 1/8	17/32		3/4
600	0-30		3/16	3/32	5/8	
	31-60		1/4	3/32	7/8	
	61-100	5 3/8	1/2	9/32		1/4
	101-200	6 1/8	11/16	9/32		7/16
	201-400	7 1/8	15/16	13/32		5/8
	401-600	8 3/16	1 1/8	17/32		3/4

**NOTE:** Dashed line in drawing (dimension G) represents the limit of the maximum projection of a screw, rivet head, etc. It becomes a circle for a fuse rated at more than 200 amps.



NORMALIZADOS POR UL, COMO CLASE "R".

Las dimensiones de "A" a "I" para los fusibles clase R son idénticas de la de los fusibles clase H, K-1, K-5 y K-9. Adicionalmente se muestran dimensiones físicas de estos fusibles, en el caso de los elementos de rechazo que aquí se muestran, tanto en las férulas, (en los fusibles de 0-60 amps.) como en las navajas (en los fusibles de 61 A., 600 Amps)

Los fusibles clase R son limitadores de corriente y los RK-5 y RK-1 -- cumplen con el valor predeterminado de energía de fuga en amperes. cuadrado-segundo que marca la norma U.L. y estos son idénticos a -- los descritos para los fusibles K-1 y K-5 en la norma U.L. 198.3. Es -- más, los fusibles clase RK-1 y RK-5 son los fusibles K-1 y K-5 respectivamente; con la salvedad de tener el elemento de rechazo (R). Todos los fusibles RK-1 y RK-5 deberán ser marcados como "Limitadores de co-

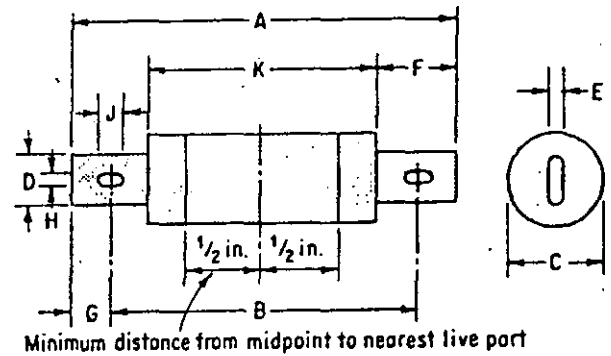
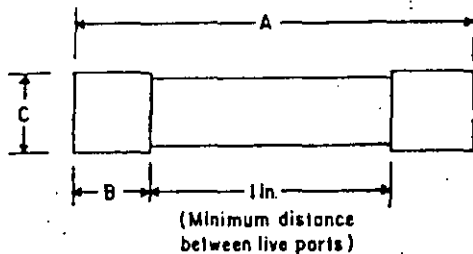
riente".

Los fusibles RK5 pueden ser tiempo retardo siempre que cumplan con la prueba de fundirse en 10 segundos con una sobrecarga del 200% de su corriente nominal.

La muesca en la férula y la ranura en la navaja, cuando se utiliza en conjunción con un portafusibles especial diseñado para recibir únicamente fusibles clase R, previene la intercambiabilidad con los fusibles clase H.

**FUSIBLES CLASE "J":** Los fusibles clase J son del tipo no-renovables y limitadores de corriente y cumplen con la norma U.L. 198.2 (incorporada dentro de la norma ANSI (97.1-1972)). Se fabrican para 600 volts, C.A. máximos y de 0-600 Amperes. Su capacidad interruptiva, es de --- 200,000 amperes RCM simétricos.

DIMENSIONES DE FUSIBLES (PULGADAS).



Amperes	A	B	C
0-30	2 1/4	1/2	13/16
31-60	2 3/8	5/8	1 1/16

Amperes	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
61-100	4 5/8	3 5/8	1 1/8	3/4	1/8	1	1/2	9/32	3/8	2 5/8
101-200	5 3/4	4 3/8	1 5/8	1 1/8	3/16	1 3/8	11/16	9/32	3/8	3
201-400	7 1/8	5 1/4	2 1/8	1 5/8	1/4	1 7/8	15/16	13/32	17/32	3 3/8
401-600	8	6	2 5/8	2	3/8	2 1/8	1	17/32	11/16	3 3/4

NORMALIZADOS POR NEMA Y UL , COMO CLASE "J": 0-600 AMPERES PARA 600 - VOLTS C.A.

Los fusibles clase J son no-intercambiables con cualquier otro y se requiere que sean marcados como limitadores de corriente.

Los valores predeterminados de energía de fuga están dados por la mis

ma norma U.L. 198.2.

Ya que ni la norma U.L., ni la norma "NEMA", designa tiempo retardo para estos fusibles, de ahí que cuando cualquier literatura describa un fusible con las palabras "Clase J, tiempo retardo" ó en su defecto -- "Fusible tiempo retardo con dimensiones clase J", el fusible en cuestión no es un fusible clase J, puede tratarse de un fusible clase K5 - con dimensiones de un clase J.

FUSIBLE CLASE "L": Los fusibles clase "L" son del tipo no-renovables y limitadores decorriente y cumplen con la norma U.L. - 198.2 (que ha sido incorporado como parte de la norma ANSI, 97.1 - 1972).

Tienen una tensión nominal de 600 Volts máximos en corriente alterna (únicamente), su corriente nominal es de 800 Amperes hasta 6,000 Amps. se encuentra en el mercado con los siguientes "tamaños de cartucho" -- 800, 1,00, 1,600, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, 5000 y 6,000 Amps. con capacidad interruptiva de 200,000 Amperes RCM simétricos.

Los fusibles clase L son "no-intercambiables" con ningún otra clase de fusible y su montaje se realiza directamente sobre las barras colectoras.

Los fusibles clase L deberán de ser marcados como "limitadores de corriente" con un valor de energía.

## EJERCICIOS DE COORDINACION CON COMENTARIOS (Y RESPUESTAS):

1.- Supongamos que sobrecargamos un fusible 200 A., con 500% de su capacidad nominal (1,000 amperes) cuál será su tiempo mínimo de fusión.

(a) SCL-200? (RK1) RESPUESTA 1 Seg.

(b) ECS-200? (RK5) RESPUESTA 17 Seg.

### 1.- COMENTARIOS:

Analizando nuestras curvas tiempo corriente de nuestro Boletín Clase F-23 020582 Pag. 27; Boletín F-23 020582 Pag. 25, encontramos en las abscisas 1,000 amperes y levantando en este punto una perpendicular a este margen horizontal hasta cruzar la curva de 200 A., del fusible en cuestión, en este punto de intersección trazamos una paralela al margen de las abscisas cortando el margen de las ordenadas en 1 Seg., obteniéndose así el punto mínimo de fusión.

2.- Suponiendo un circuito con dos fusibles en serie un fusible NCL100 (RK1) en el lado de línea y un fusible ECN60 (RK5) en el lado de carga, comparemos:

(a) La energía  $I^2t$  del fusible ECN60 (RK5), durante el tiempo total de apertura?

BOL. F-23 020582, Pag. 36 60 Amps. 2 seg.  $\times 10^3 = 60,000 \text{ Amps}^2$  --  
Seg.

(b) La energía  $I^2T$  del fusible NCL100 (RK1), durante el tiempo de fusión?

BOL. F-23 020582, Pag. 38 7 Amps.<sup>2</sup> seg.  $\times 10^3 = 7,000 \text{ Amps}^2$ . --  
Seg.

### 2.- COMENTARIOS:

En la página No. 36 del Boletín F-23 020582 se encuentran los datos de Energía de Fuga  $I^2T$  para los fusibles RK5, doble elemento - 250 V.C.A., tanto en el tiempo de fusión como el de tiempo total de apertura (fusión más arqueado).

En el margen inferior (Abcisas) buscamos la calibración del fusi-

ble RK5, ECN60 y donde la ordenada correspondiente (línea inclinada superior), corte al tiempo total de apertura en este punto de intersección - trazamos una paralela al margen inferior cortando al margen izquierdo en el valor de energía de fuga de  $60 \text{ Amps}^2 \text{ seg.} \times 10^3$  (energía de fuga durante el tiempo total de apertura).

La energía de fuga en el tiempo de fusión para el fusible del lado de línea lo obtenemos en la Pag. 38 del Boletín F-23 020582.

Esta energía de fuga durante el tiempo de fusión se obtiene siguiendo el mismo método anterior únicamente que considerando el punto de intersección en la línea inclinada inferior leyendo en el lado del margen izquierdo  $7 \text{ Amps}^2 \text{ seg.} \times 10^3$ .

Es condición necesaria y suficiente que la energía de fuga durante el tiempo total de apertura del fusible de lado de carga no exceda al tiempo de fusión del fusible de lado de línea.

Como podemos constatar en este ejemplo no podemos coordinar el fusible en el lado de línea, con un valor de energía de fuga de  $I^2T$  en el tiempo de fusión mayor de  $60,000 \text{ Amps}^2 \text{ seg.}$

Regresamos a nuestra curva a buscar la calibración que nos de un valor superior a los  $60,000 \text{ Amps}^2 \text{ seg.}$ , del fusible de lado de carga y podremos observar que  $70,000 \text{ Amps}^2 \text{ seg.}$ , los puede proporcionar un fusible NCL300 (RK1). O sustituir por un doble elemento (RK5) ECN150.

3.- Si un interruptor de seguridad soporta los efectos de una energía de fuga  $I^2T$  de  $20 \times 10^6 \text{ Amps}^2 \text{ seg.}$  ¿Cuál es el fusible de mayor capacidad que podremos instalar en este switch?, para su protección Un fusible clase "L", LCL de 1600A. que tiene  $18 \text{ Amps}^2 \text{ seg.} \times 10^3$ .

### 3.- COMENTARIOS:

El fusible debe tener una energía de fuga  $I^2T$  durante su tiempo total de apertura (fusión más arqueo) menor que la que soporta el interruptor de seguridad.

Para este ejemplo usamos los datos de  $I^2T$  del Boletín F-23 020582, Pag.-41, tomando la ordenada correspondiente a la calibración del fusible cla

se "L" LCL1600 y donde corte a la línea inclinada (tiempo total de apertura). Leemos la energía de fuga correspondiente al margen izquierdo.

4.- Como seleccionar el fusible de mayor capacidad para proteger un interruptor termomagnético.

Consideremos que en el punto donde se instalará un interruptor termomagnético marco NJL se dispone de un cortacircuito simétrico de 100,000 amperes en 480 V., la capacidad interruptiva de este dispositivo de protección es de 35,000 amperes simétricos a 480V. Un fusible (RK1) SCL600 protegerá al interruptor.

#### 4.- COMENTARIOS:

En caso de no tener fusible el pico máximo de la onda de cortocircuito será de 240,000 amperes (2.4 veces el corto simétrico disponible).

Como obtenemos este valor?

De las curvas de corriente pico defuga durante la apertura ver Pag. 33 - y/o 42, Boletín F-23 020582.

En las abscisas se encuentra el valor eficaz de la corriente de cortocircuito simétrico (100,000) levantamos una perpendicular hasta cortar la línea inclinada la cual determina la máxima asimetría.

En este punto de intersección trazamos una paralela a la línea recta de las abscisas hasta cortar la ordenada del lado izquierdo y ahí se obtiene 240.000.

1.- Esta misma ordenada corta la curva correspondiente al fusible RK1, en cuestión (SCL600) y en este segundo punto de intersección trazamos otra paralela a las abscisas y en el punto donde corta la ordenada estamos en condiciones de obtener la corriente pico de fuga que deja pasar el fusible siendo este valor de 42.000 amperes. Esta última paralela intercepta a la línea de máxima asimetría, en este punto bajamos una línea perpendicular a las abscisas cayendo en el valor de 17,000 amperes.

Lo cual nos permite comprender que el efecto limitador del fusible lo traduce el cortocircuito de 100.000 amperes a un cortocircuito simétrico



de 17,500 amps. Y con este valor de corriente es menor que la capacidad interruptiva del termomagnético vemos que queda debidamente protegido.

5.- Como determinar el fusible de mayor capacidad para proteger un -- Centro de Control de Motores (CCM), el cual esta diseñado para so portar los efectos de cortocircuito de 50.000 A., simétricos si - en el lugar de su instalación se dispone de un nivel de cortocir- cuito de 100.000 amperes simétricos.

Debemos considerar la condición más crítica ó sea el pico de co- rriente máxima el cual se obtiene con un corto circuito asimétrico consideremos el caso más crítico:

$$50.000 \times 2.4 = \underline{120.000} \text{ (Ip máx.)}$$

El fusible clase "L", LCL de 2000 amps., con una corriente de cortocir- cuito de 100.000 amps., permite una Ip de 100.000 de donde podemos com- prender que este fusible protegerá al CCM, ya que su Ip es menor a la - Ip que soporta el CCM.

5.- COMENTARIOS:

De nuestro Boletín No. F-23 020582, Pag. 35, podemos determinar la Ip - del fusible clase "L" LCL de 2000.

1.- Localizamos en las abscisas la corriente de simétrica disponible - y en este punto levantamos una perpendicular al margen inferior - al cortar la curva del fusible de 2000 A., trazamos una paralela - al margen inferior y al cortar el margen izquierdo estamos en con- diciones de leer 100.000 amperes de corriente de fuga (IP).

CAUSAS MAS COMUNES POR LAS CUALES PUEDE FUNDIRSE UN FUSIBLE, ASI COMO - LAS RECOMENDACIONES A OBSERVAR:

Quando un fusible se funde ..... busque la causa no se- concrete a reemplazarlo.

A.- Puede haber ocurrido un cortocircuito .....

Repare la falla antes de reemplazarlo.

(falla de aislamiento).

B.- Pudo haber ocurrido una sobrecarga .....  
Elimine la sobrecarga antes de reemplazarlo.

C.- Insuficiencia en el retardo de tiempo .....

Por ejemplo: En el momento de arranque del Motor (a) reemplacese por un fusible K5. No es recomendable el uso de fusibles de un tiempo y renovables.

D.- Exceso de calor por causas de falso contacto .....

1.- En el portafusibles.

(a) Reemplace ó corrija el portafusible.

2.- En las navajas del fusible (si es de navajas).

(a) Reemplace las partes ó repare el switch.

3.- Mala conexión en las zapatas.

(a) Apretar tornillos.

4.- Conexiones sucias en el fusible ó portafusible.

(a) Limpiar superficies de contacto.

5.- Oxidaciones y cambio de color son síntomas de superficies insuficientes de contacto.

6.- Superficies insuficientes de contacto pueden mostrar puntos de arqueo.

7.- Superficies insuficientes de contacto pueden carbonizar los extremos del tubo del fusible.

8.- Mala instalación de los eslabones fusibles, pueden también carbonizar los extremos del tubo del fusible.

E.- Tableros de Distribución tipo fusible con circuitos ligeramente sobrecargados y con excesivo calor .....

La solución es sustituir los fusibles por fusibles K5, los cuales operan fríos.

F.- La sección del portafusible no es la adecuada al fusible.

G.- Fusibles en lugares con exceso de calor, por ejemplo cerca de cal

deras u otras fuentes de calor .....

La sugerencia es sutituir esos fusibles por fusibles K5.

H.- Vibraciones. ....

Las cuales afectan tremendamente a los eslabones de los fusibles renova  
bles.

I.- Fusibles Económicos puede ser la razón.....

1.- Conexiones internas muy pobres entre el eslabón fusible y la tapa  
roscada.

2.- Envejecimiento.

### APLICACION DE FUSIBLES:

Qué fusible recomendaremos para un caso determinado?

La siguiente guía nos ayudará a la selección adecuada.

A.- Cuando debe recomendarse un fusible "H" (un tiempo).

En circuitos derivados donde estos son la mayor partida a proteger y -  
las corrientes nominales a través de los fusibles no están cerca de la-  
capacidad nominal del fusible y donde no se esperan fallas frecuentes.

B.- Cuando se debe recomendar un fusible "RK5" (doble elemento con re  
traso de tiempo).

1.- Para protección desobrecarga y cortocircuito de Motores. Pudiendo  
se seleccionar la protección de sobrecarga muy cercana a la corriente a  
plena carga del motor sin tener apertura del fusible en el momento de -  
arranque del Motor, como sucedería con fusibles de un tiempo.

2.- Para aplicaciones donde la corriente fluyendo a través del fusi--  
ble esta muy cercana a su capacidad nominal en amperes. Los fusibles --  
RK5, no cuasarán sobrecalentamientos en el portafusible evitándose la -  
falla por calentamiento lo cual no podremos evitar en un fusible de un-  
tiempo.

3.- Donde es necesario la protección de motores por falla de una fase  
yaque con la selección del Juego de fusibles RK5, al operar un fusible-

la sobrecarga resultante es suficiente para que operen los otros fusibles. Esta protección no se puede obtener con fusibles de un tiempo.

4.- Debido a que los fusible RK5 "operan fríos", no contribuyen con mucho calor al ambiente y pueden usarse por lo tanto donde se requieran temperaturas bajas.

5.- Donde se esperen conexiones eléctricas pobres (falsos contactos), ahí el fusible RK5 fundirá por calentamiento y prevendrá de daño al portafusible por calentamiento.

6.- Los fusibles RK5, nos permiten usar interruptores de seguridad de menor capacidad.

7.- Donde las corrientes de fallas son entre 10,000 y 200,000 Amps., los fusibles ECON interrumpiran segura y eficientemente el circuito. - Los fusibles de un tiempo interrumpiran fallas no mayores de 10,000 -- amps.

C.- Quando se recomendará usar fusible clase "H", renovable?

Donde los niveles de falla no excedan 10,000 Amps., y principalmente en circuitos derivados donde se esperen fallas frecuentes y no requiera retraso de tiempo.

D.- Quando se debe recomendar fusibles limitadores clase "J ó L".

1.- Cuando se tienen niveles de corrientes de cortocircuito mayores de 100,000 amperes. Estos fusibles interrumpirán segura y eficientemente el circuito. En la construcción de estos fusibles son usados -- los materiales más robustos que en cualquier otra clase de fusible.

2.- Cuando se desea limitar la corriente de fuga durante la fusión - a niveles seguros para proteger los equipo, este fenómeno va acompañado por una interrupción mucho muy rápida.

3.- Cuando la capacidad del fusible excede de 600 amps. ya que estos fusibles son los únicos disponibles y con normas NEMA.

E.7 Cuando se deben recomendar Fusible Miniatura.

Estos fusibles miniatura se construyen en las siguientes dimensiones -  $\emptyset = 13/32"$   $l = 1-1/2"$  pudiendo ser de un tiempo, doble elemento, renovables y limitadores, pudiendose utilizar donde el factor espacio es primordial y donde la capacidad máxima en amperes no desea mayor de 30 -- Amps., y es específico para protección interior de circuito de control (arrancadores, Interruptores, etc.).

CLASE  
1330



# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

Con Retraso de Precisión y  
Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

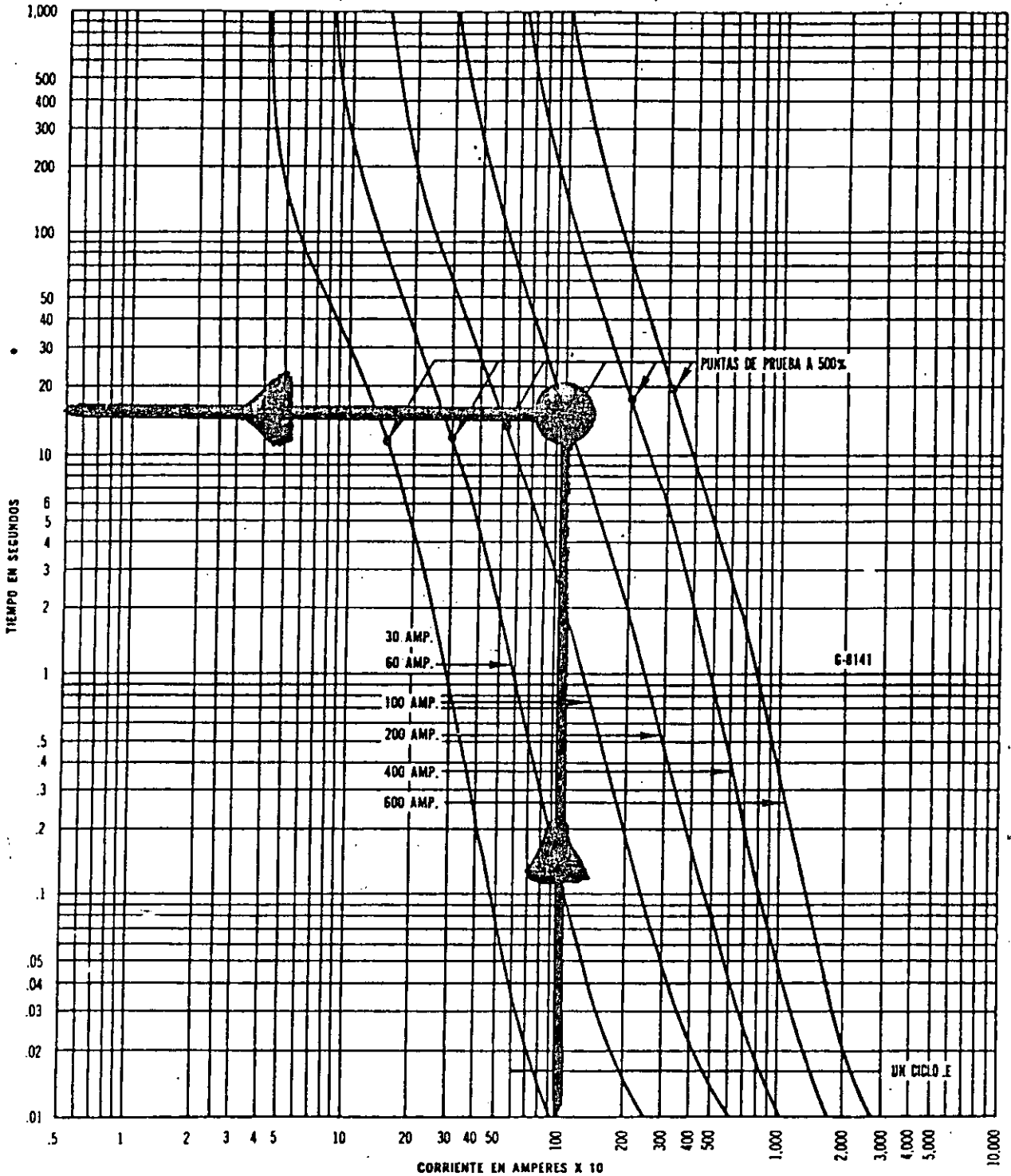
ECS

CLASE RK 5

126

CURVAS CARACTERISTICAS PROMEDIO TIEMPO-CORRIENTE - 0 a 600 Amp. 600 Volts.

(20)



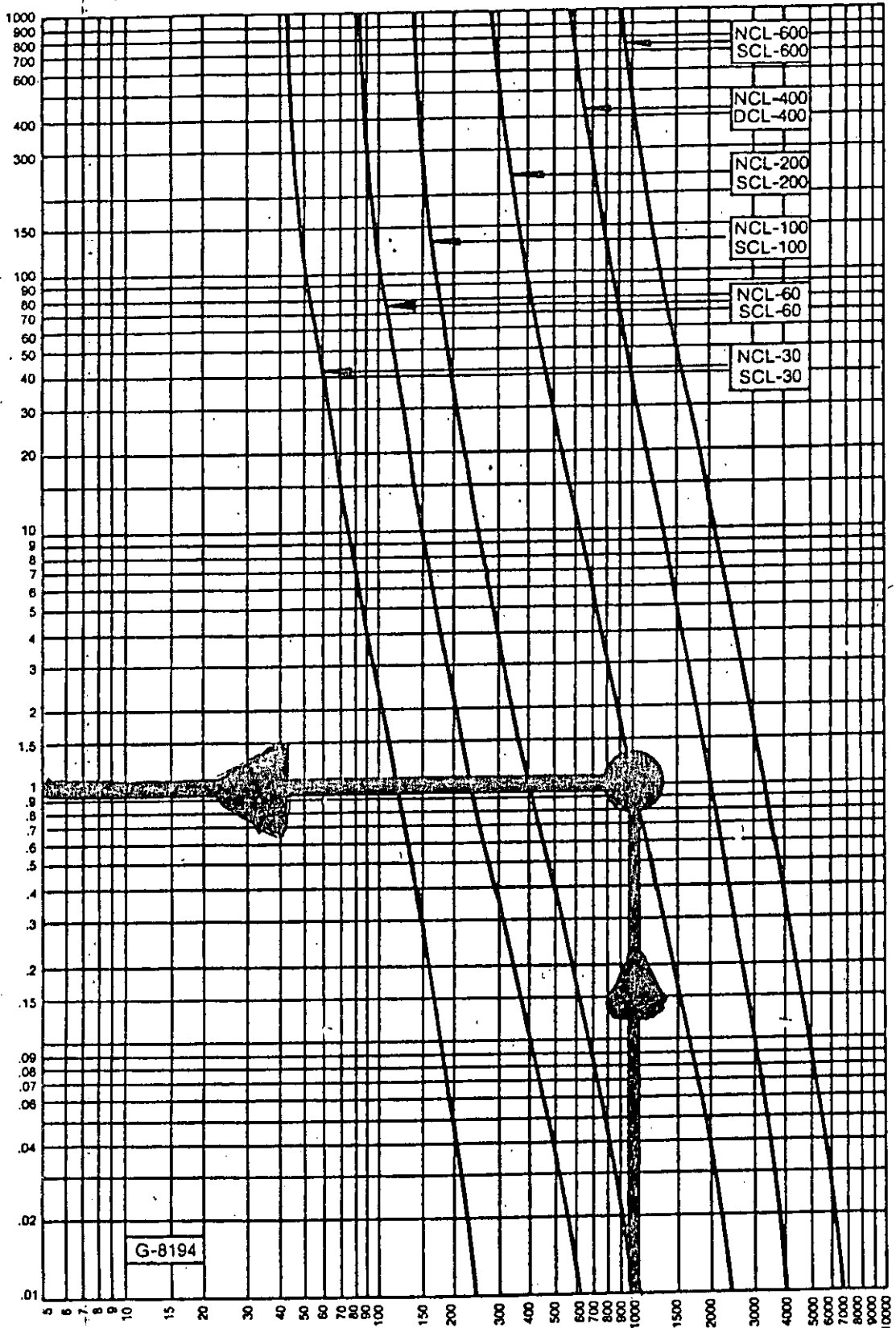
# Fusibles Limitadores de Energía Símbolo NCL y SCL. Clase K-1 de U.L.



126

27

TIEMPO DE FUSION EN SEGUNDOS

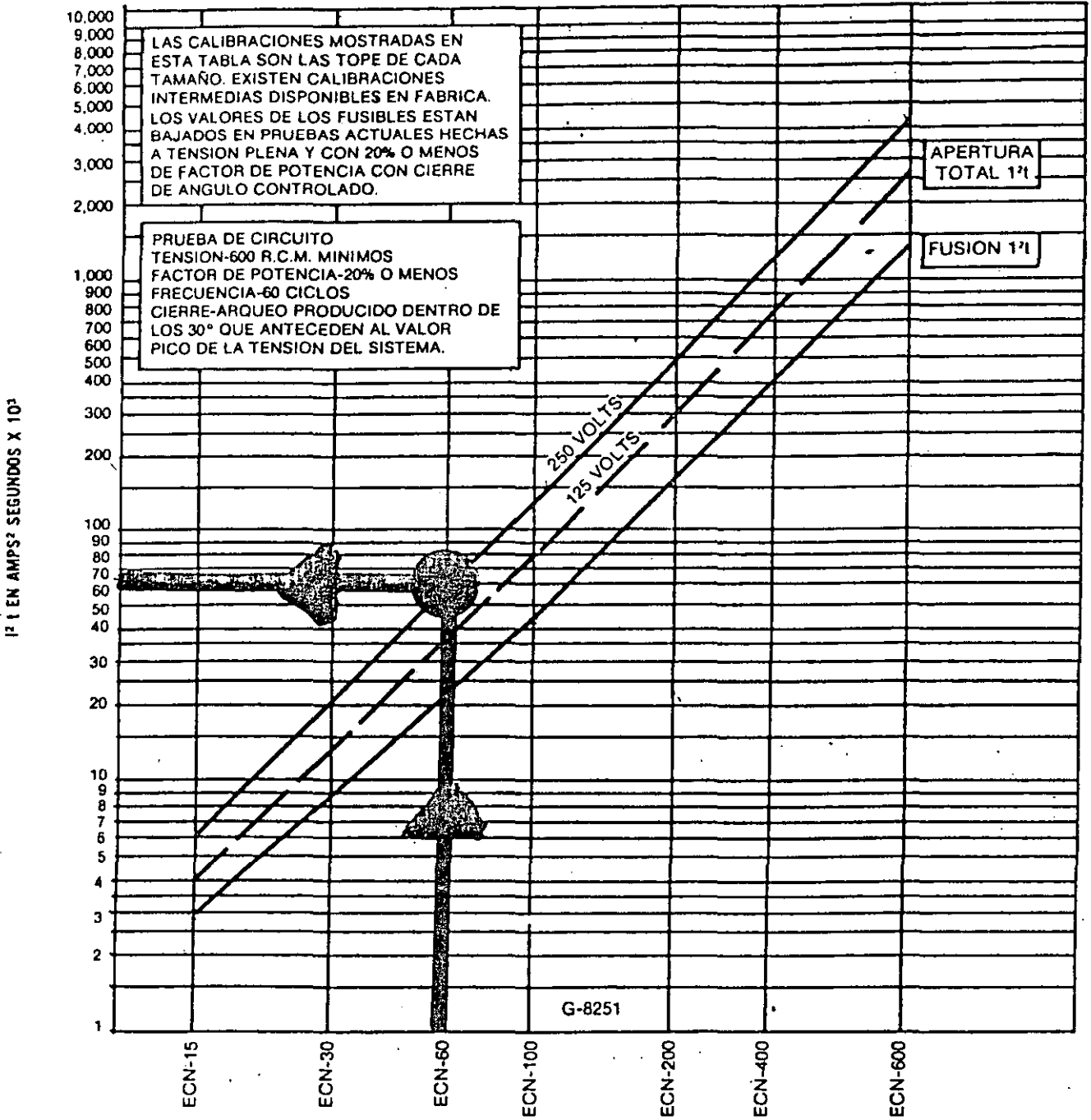


CORRIENTE SIMETRICA EN AMPS. R.C.M.  
CURVA CARACTERISTICA TIEMPO/CORRIENTE

# Fusibles de Cartucho Econ de Doble Elemento Símbolo ECN 250 Volts. Clase K-5 de U.L.



12 c



CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES  
ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup>t (AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS)



# Fusibles Limitadores de Energia Econolim

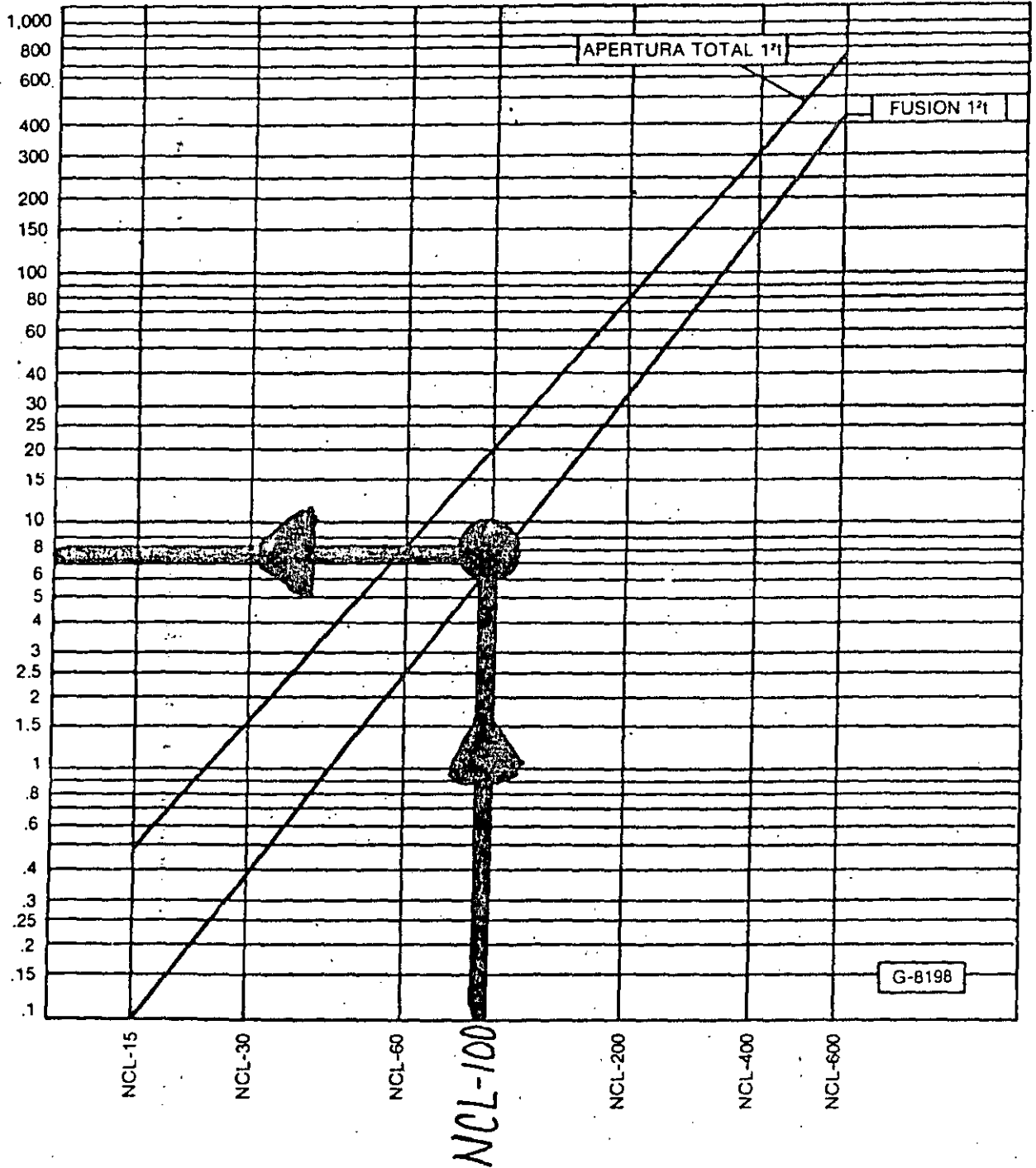
## Símbolo NCL. Clase K-1 de U.L.

13a



23

I<sup>2</sup> t EN AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS X 10<sup>3</sup>



G-8198

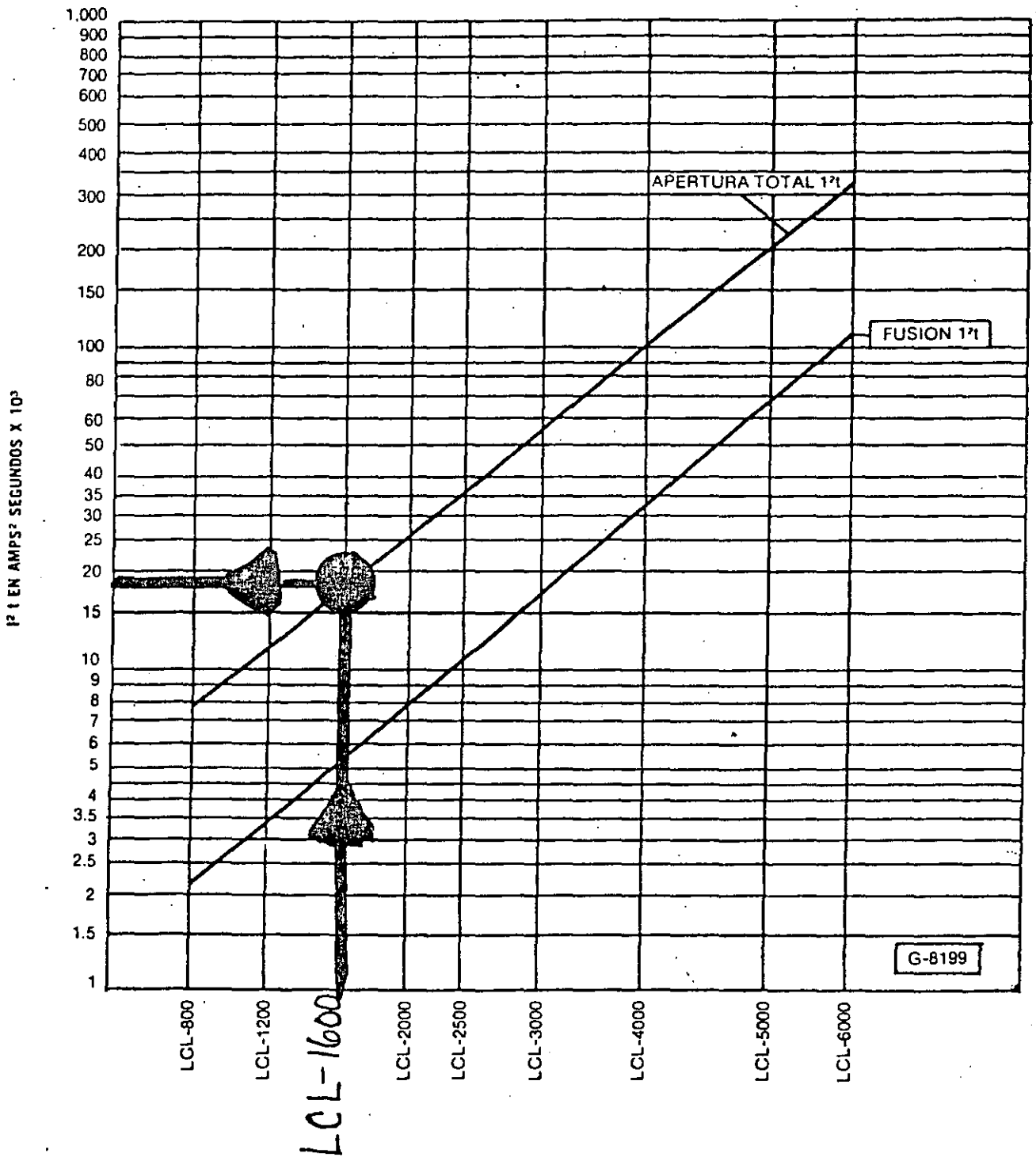
CAPACIDAD DEL FUSIBLE EN AMPERES  
 ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup> t (AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS)  
 BASADO EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. R.C.M. A LA TENSION NOMINAL

# Fusibles Limitadores Econolim Símbolo LCL. Clase L de U.L.



135

(24)



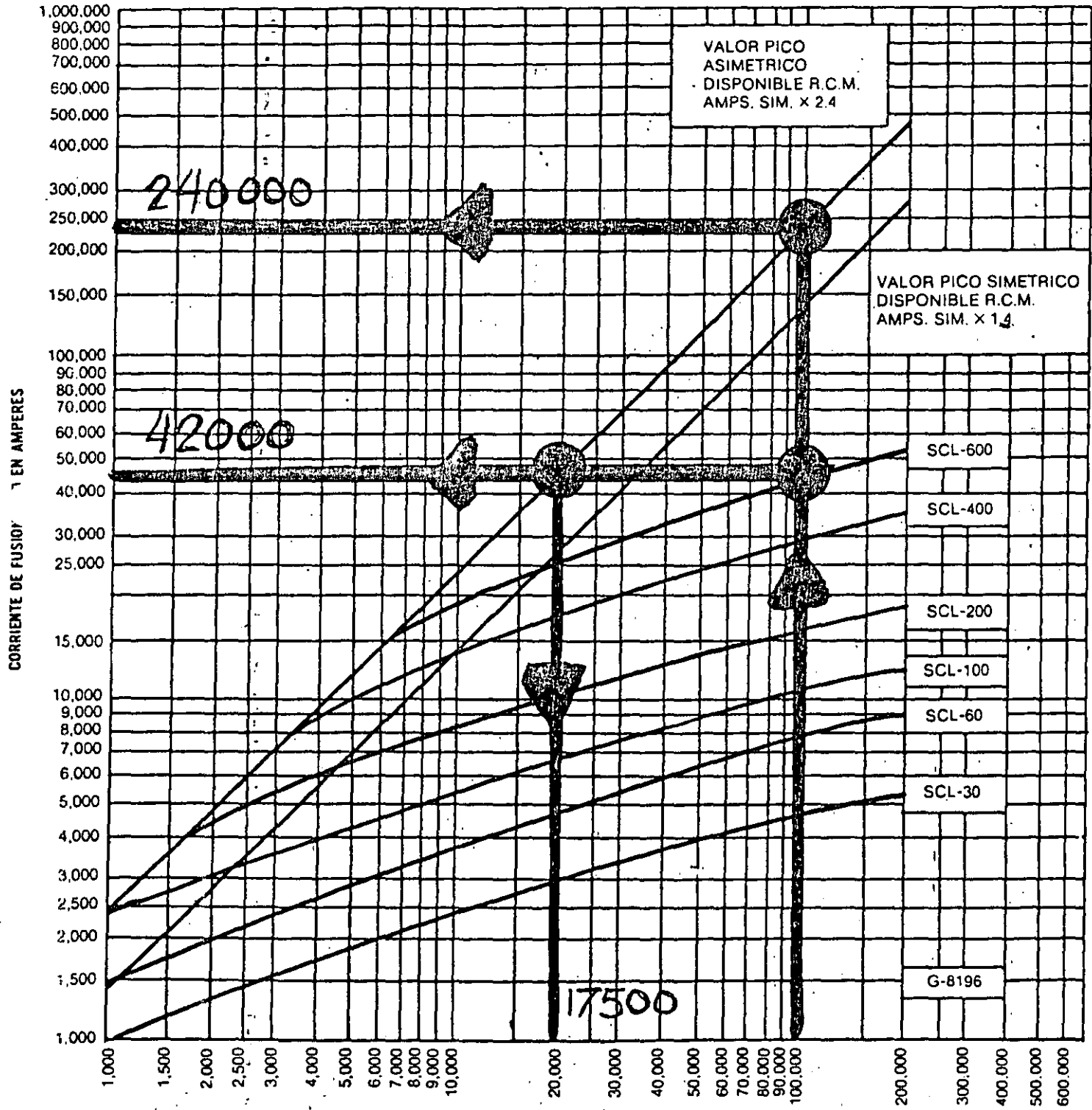
**CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES**  
**ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUCCION I² t (AMPS² SEGUNDOS)**  
**BASADOS EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. A LA TENSION NOMINAL**

G-8199

# Fusibles Econolim Limitadores de Energia Simbolo SCL 600 Volts. Clase K-1 de U.L.



18/9 (23)



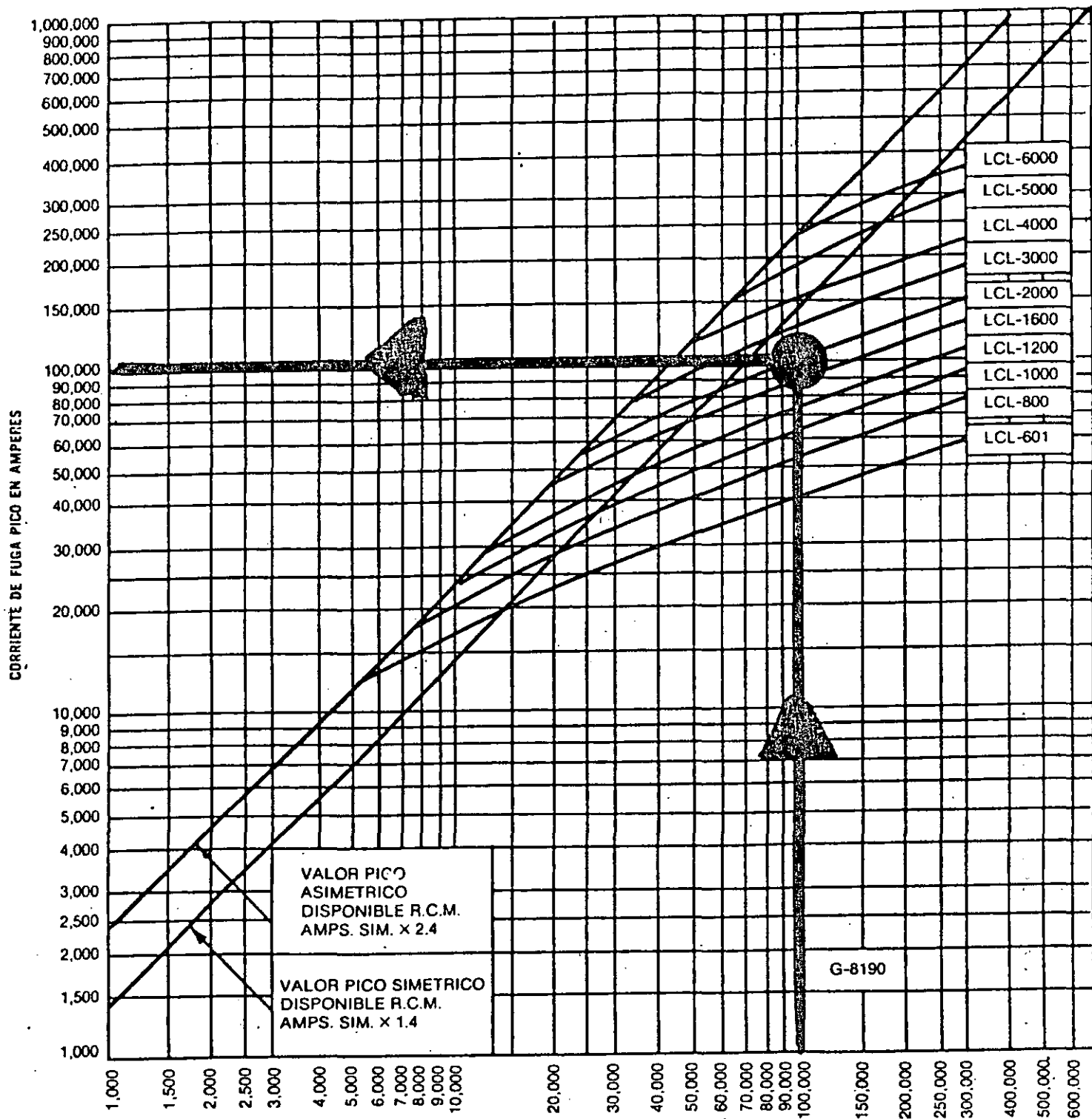
CORRIENTE SIMETRICA DISPONIBLE EN AMPERES R.C.M.  
CORRIENTE DE FUGA PICO DE FUSIBLES SCL DURANTE LA INTERRUPCION

# Fusibles Limitadores Econolim Símbolo LCL. Clase L de U.L.



159

26



CORRIENTE SIMETRICA DISPONIBLE AMPS. RCM  
CORRIENTE PICO DE FUGA DURANTE LA INTERRUPCION DE FUSIBLES LCL

BIBLIOGRAFIA

- 1.- APPLYING LOW-VOLTAGE FUSES  
HERMAN W REICHENSTEIN  
MC GRAW HILL.
- 2.- 1981 N.E.C. HANDBOOK  
NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.
- 3.- BOLETIN. FUSIBLES.  
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- 4.- CARTRIDGE FUSES A COMPENDIUM  
ECONOMY FUSE DIVISION  
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC CO.
- 5.- BOLETIN SP81 ELECTRICAL PROTECTION HANBOOK  
BUSS FUSE.

FUSIBLES DE BAJA TENSION  
( 0 - 600 VOLTS)  
NO LIMITADORES

(28)

FUSIBLES TIPO TAPON

CLASE H

BASE EDISON

1. 125V.C.A.
2. 0-30 AMPS.
3. NO INTERCAMBIABLE

1. 250 Y 600 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 10 KA.

BASE S

1. RETARDO DE TIEMPO 200% A 12 SEG.
2. 125 V.C.A.

4. RENOVABLES Y NO RENOVABLES.
5. SOLO OPERA EN C.A.
6. INTERCAMBIABLES CON LOS K-1, K-5 Y K-9
7. NO SON TIEMPO RETARDO.

FUSIBLES DE BAJA TENSION  
( 0 -600 VOLTS)  
LIMITADORES

CLASE K

CLASE G

CLASE J

CLASE L

CLASE R

- |  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 250 Y 600 V.C.A.</li> <li>2. 0-600 AMPS.</li> <li>3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 50, 100 Y 200 KA.</li> <li>4. K-1, K-5, K-9 SON NO RENOVABLES</li> <li>5. ALGUNOS FUSIBLES OPERAN EN C.D.</li> <li>6. INTERCAMBIABLES CON CLASE H.</li> <li>7. CLASE K-5 Y K-9 (DOBLE ELEMENTO) SON TIEMPO RETARDO 10 SEG. 500%</li> <li>8. NO PUEDEN SE ETIQUETADOS COMO LIMITADORES DE CORRIENTE.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 300 V.C.A.</li> <li>2. 0-600 AMPS.</li> <li>3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 100 KA.</li> <li>4. SON INTERCAMBIABLES CON LOS MISELANEOS.</li> <li>5. SON TIEMPO RETARDO 12 SEG. 200%</li> <li>6. NO RENOVABLES.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 600 V.C.A.</li> <li>2. 0-600 AMPS.</li> <li>3. C.I. 200 KA.</li> <li>4. NO INTERCAMBIABLE</li> <li>5. NO SON TIEMPO RETARDO</li> <li>6. NO RENOVABLES.</li> <li>7. ETIQUETADOS COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 600 V.C.A.</li> <li>2. 601 - 6000 AMPS.</li> <li>3. C.I. 200 KA.</li> <li>4. NO INTERCAMBIABLE</li> <li>5. NO ES TIEMPO RETARDO</li> <li>6. NO RENOVABLE</li> <li>7. ETIQUETADO COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 250 Y 600 V.C.A.</li> <li>2. 0-600 AMPS.</li> <li>3. CAP. INT. 200 KA.</li> <li>4. RK-1 - RK-5 NO INTERCAMBIABLE CUENTAN CON ELEMENTO DE RECHAZO</li> <li>5. RK-5 (DOBLE ELEMENTO) TIEMPO RETARDO 10 SEG. A 500%</li> <li>6. NO RENOVABLES.</li> <li>7. ETIQUETADO COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.</li> </ol> |
|--|---|--|---|--|

PROTECCION AL MOTOR.

(29)

NEC. TABLAS 430-148 INDICAN QUE EL FUSIBLE QUE PROTEGE EL  
-149 CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR, NO DEBERA  
-150 EXCEDER EL PORCENTAJE DE LA CORRIENTE  
DE PLENA CARGA SIGUIENTE:

CUANDO LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR ES:

MENOR DE 9 AMPERES	170%
9.1 AMPERES - 20 AMPERES	156%
MÁS DE 20 AMPERES	140%

CORRECCION POR TEMPERATURA (FUSIBLE DOBLE ELEMENTO).

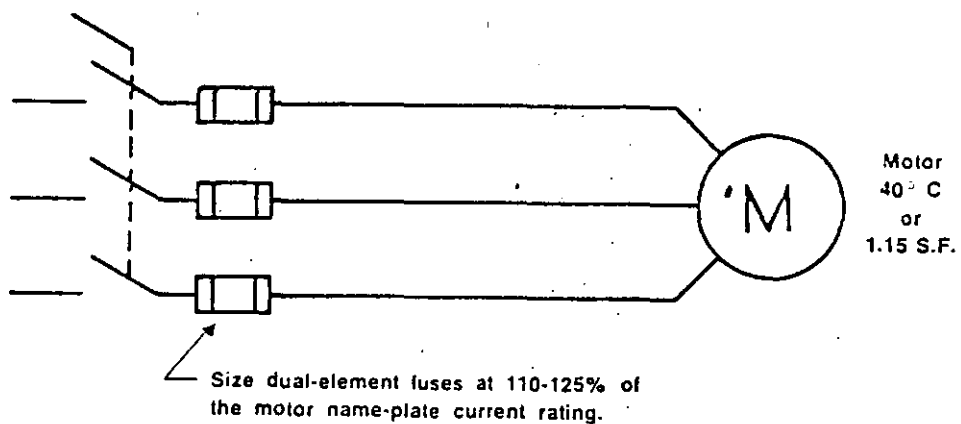
EL FUSIBLE ESTA DISEÑADO PARA OPERAR AL 100% DE SU CORRIENTE NOMINAL ENTRE 70 A 80 °F DE TEMPERATURA AMBIENTE, UN AMBIENTE A MAYOR TEMPERATURA REQUIERE DE CORREGIR EL VALOR DE LA CORRIENTE NOMINAL, CADA FABRICANTE DISPONE DE TABLAS PARA ELLO.

# PROTECCION AL MOTOR

(30)

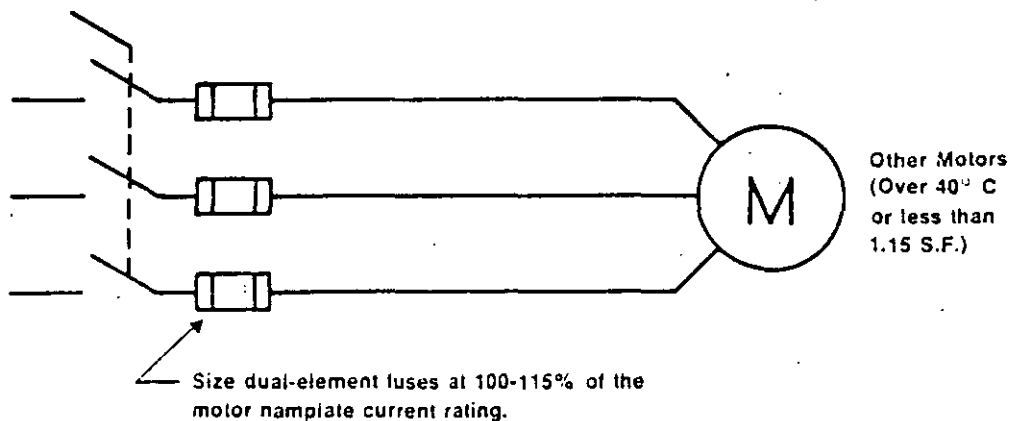
## PARA MOTORES DE 40°C O 1.15 F.S.

FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERA SER 110-125% DE PLENA CARGA DEL MOTOR.



## OTROS MOTORES DE MAS DE 40°C O FACTOR DE SERVICIO MENOR A 1.15 F.S.

FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERÁ SER 110-115% DE PLENA CARGA DEL MOTOR.





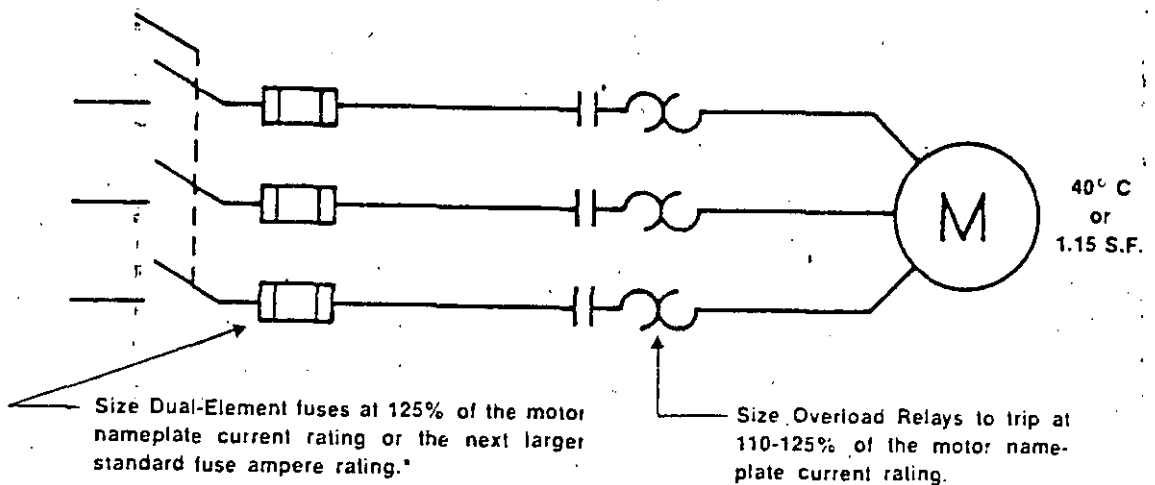
# PROTECCION AL MOTOR

PARA MOTORES DE 40°C O 1.15 F.S.

(31)

RELEVADOR TÉRMICO DE SOBRECARGA.- DEBERÁ DISPARAR A 110-125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR.

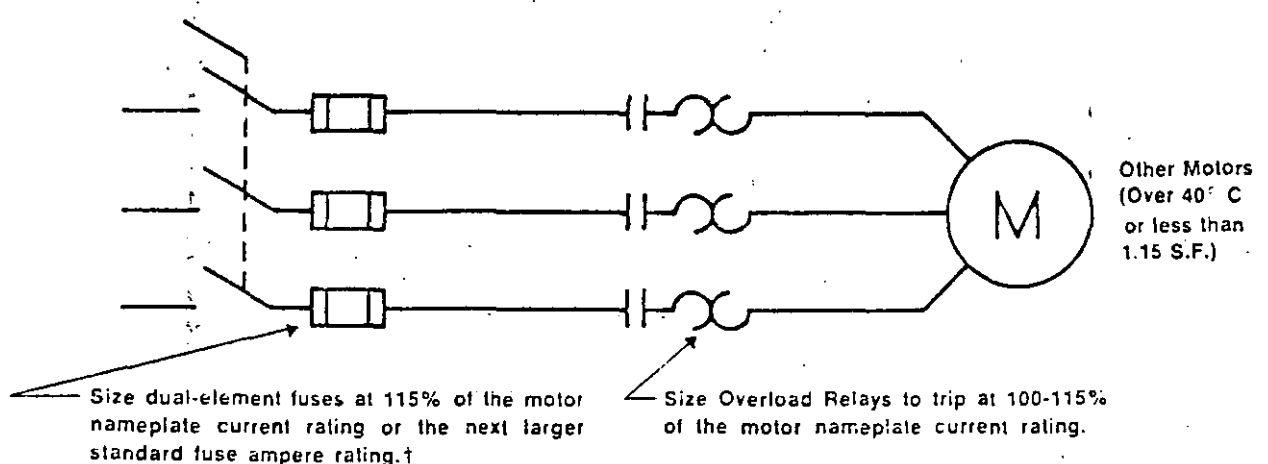
FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERÁ SER 125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR O LA SIGUIENTE CORRIENTE NOMINAL ESTANDARD DEL FUSIBLE.



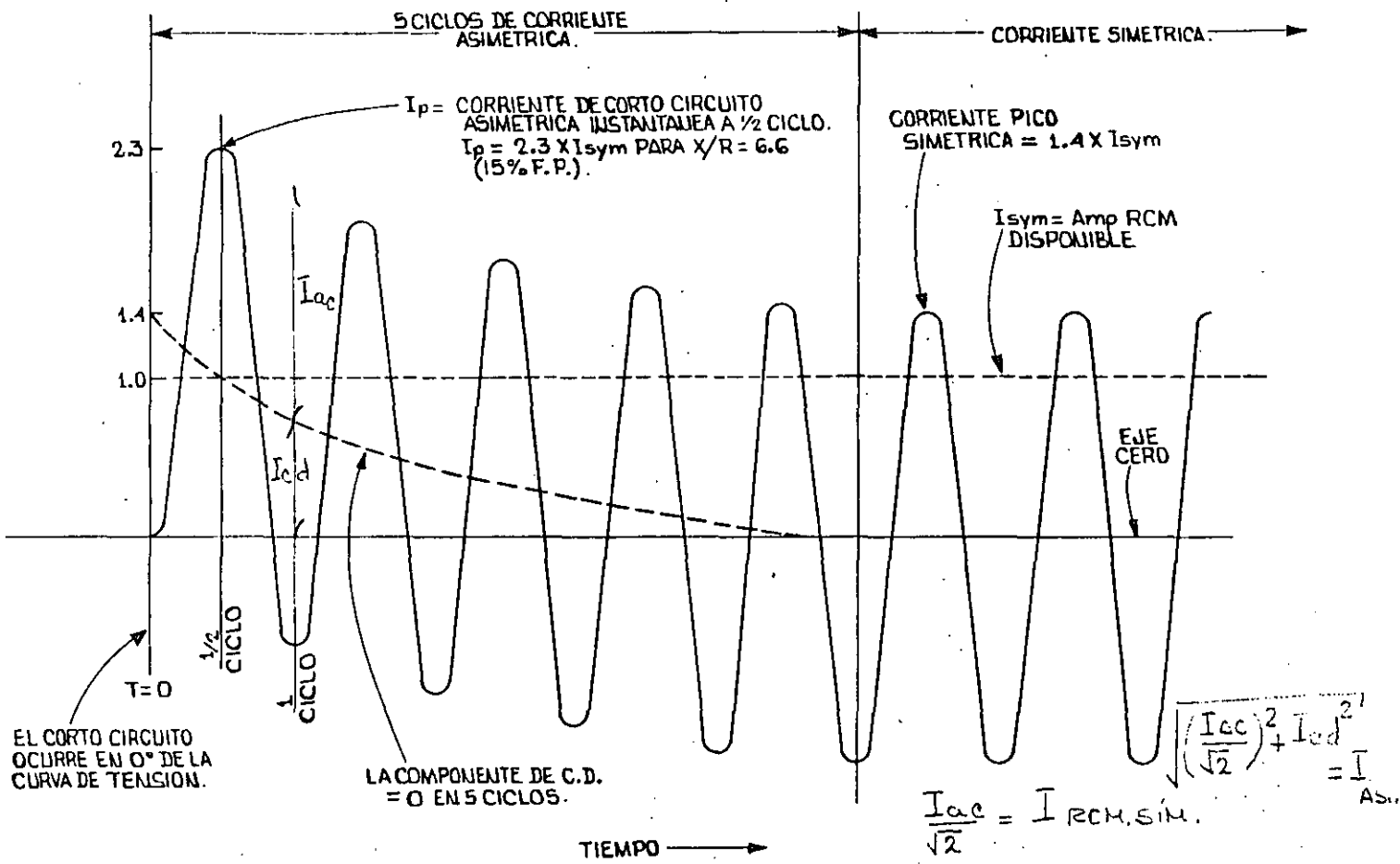
OTROS MOTORES DE MAS DE 40°C O FACTOR DE SERVICIO MENOR A 1.15 F.S.

RELEVADOR TÉRMICO DE SOBRECARGA.- DEBERÁ DISPARAR A 110-125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR.

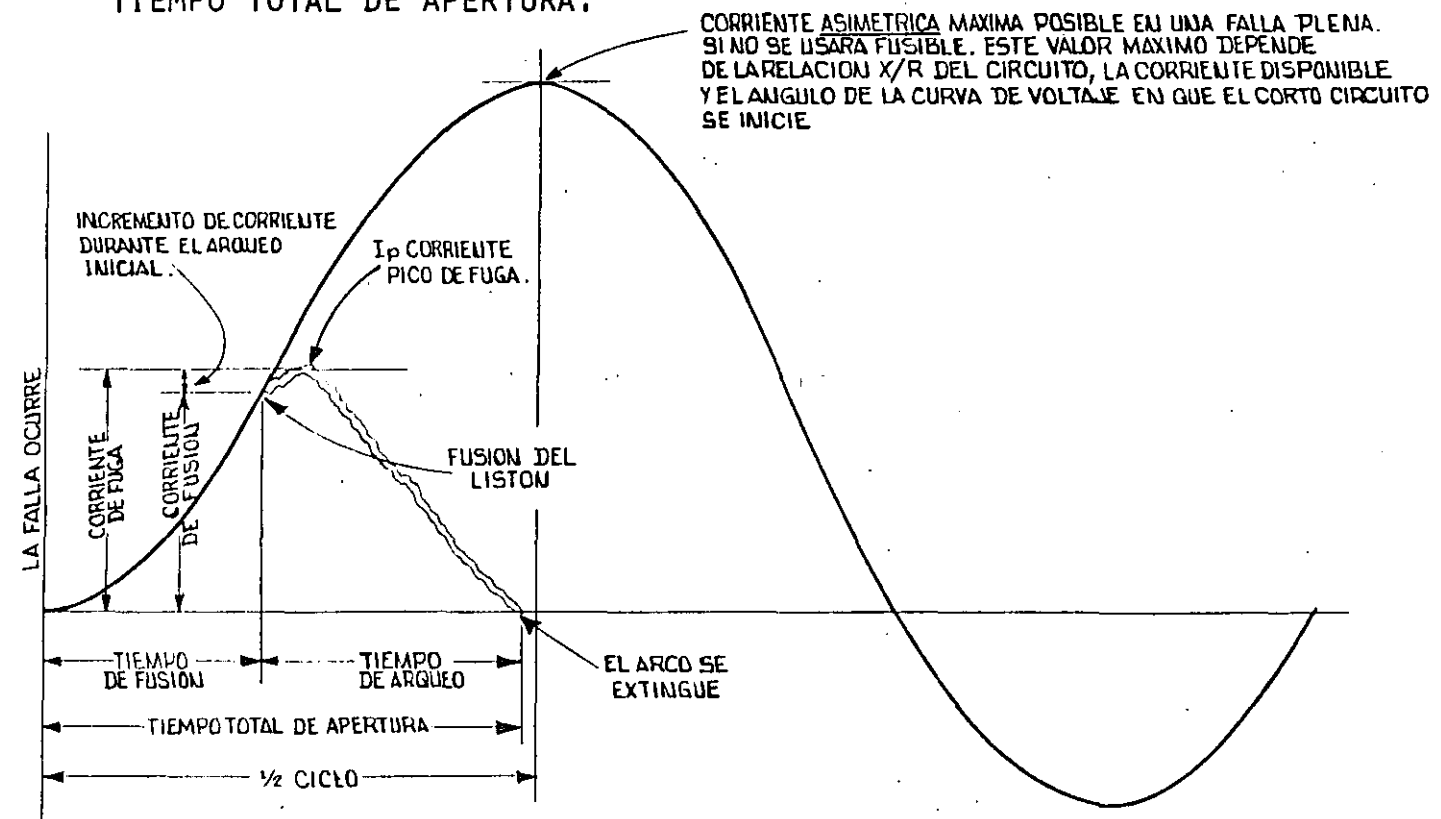
FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERÁ SER 115% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR O LA SIGUIENTE CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE.



### CORRIENTE DE FALLA ASIMETRICA: CIRCUITO CON RESISTENCIA Y REACTANCIA



### LIMITACION TYPICA DE CORRIENTE MOSTRANDO LA CORRIENTE DE FUGA Y EL TIEMPO TOTAL DE APERTURA.



## LIMITADOR DE CORRIENTE

(33)

DISPOSITIVO DISEÑADO PARA FUNCIONAR CON CORRIENTES DE FALLA DE GRAN MAGNITUD Y NO INTERRUMPE VALORES DE CORRIENTE MENORES (SOBRECARGA) SIN IMPORTAR EL TIEMPO.

SE COMPORTARA COMO CUALQUIER OTRO FUSIBLE HASTA CIERTO VALOR DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO, UNA VEZ QUE EXCEDE UN DETERMINADO VALOR, LAS CARACTERÍSTICAS DE LIMITADOR DE CORRIENTE PERMITEN QUE SÓLO UNA PORCIÓN DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO DISPONIBLE CIRCULE, OPERANDO EN MENOS DE 1/2 CICLO DE LA CORRIENTE RCM SIMÉTRICA.

I (CUADRADA) T

EXPRESIÓN USADA PARA MEDIR LA ENERGÍA DE FUGA EN TÉRMINOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE AL CUADRADO Y TIEMPO

SE REFIERE SÓLO A LA ENERGÍA QUE CIRCULA DURANTE EL TIEMPO DE APERTURA.

TAMAÑO DEL CARTUCHO\*

( CLASE L UNICAMENTE)

0 - 30 AMPS.	800 AMPS.
31 - 60 AMPS.	1200 AMPS.
61 -100 AMPS.	1600 AMPS.
101 -200 AMPS.	2000 AMPS.
201 -400 AMPS.	3000 AMPS.
401 -600 AMPS.	4000 AMPS.
	5000 AMPS.
	6000 AMPS.

\*LAS DIMENSIONES DEL CARTUCHO DEL FUSIBLE VARIAN CON FUSIBLES DE 250 A, 600 VOLTS, PESE A QUE SEAN DE LA MISMA CORRIENTE NOMINAL.

FUSIBLES DE BAJA TENSION  
( 0 - 600 VOLTS)  
NO LIMITADORES

①

FUSIBLES TIPO TAPON

CLASE H

BASE EDISON

1. 125V.C.A.
2. 0-30 AMPS.
3. NO INTERCAMBIABLE

1. 250 Y 600 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 10 KA.

BASE S

1. RETARDO DE TIEMPO 200% A 12 SEG.
2. 125 V.C.A.

4. RENOVABLES Y NO RENOVABLES.
5. SOLO OPERA EN C.A.
6. INTERCAMBIABLES CON LOS K-1, K-5 Y K-9
7. NO SON TIEMPO RETARDO.

FUSIBLES DE BAJA TENSION  
( 0 -600 VOLTS)  
LIMITADORES

CLASE K

CLASE G

CLASE J

CLASE L

CLASE R

1. 250 Y 600 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 50, 100 Y 200 KA.
4. K-1, K-5, K-9 SON NO RENOVABLES
5. ALGUNOS FUSIBLES OPERAN EN C.D.
6. INTERCAMBIABLES CON CLASE H.
7. CLASE K-5 Y K-9 (DOBLE ELEMENTO) SON TIEMPO RETARDO 10 SEG. 500%
8. NO PUEDEN SE ETIQUETADOS COMO LIMITADORES DE CORRIENTE.

1. 300 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. CAPACIDAD INTERRUPTIVA 100 KA.
4. SON INTERCAMBIABLES CON LOS MISELANEO.
5. SON TIEMPO RETARDO 12 SEG. 200%
6. NO RENOVABLES.

1. 600 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. C.I. 200 KA.
4. NO INTERCAMBIABLE
5. NO SON TIEMPO RETARDO
6. NO RENOVABLES.
7. ETIQUETADOS COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.

1. 600 V.C.A.
2. 600 - 6000 AMPS.
3. C.I. 200 KA.
4. NO INTERCAMBIABLE
5. NO ES TIEMPO RETARDO
6. NO RENOVABLE
7. ETIQUETADO COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.

1. 250 Y 600 V.C.A.
2. 0-600 AMPS.
3. CAP. INT. 200 KA.
4. RK-1 - RK-5 NO INTERCAMBIABLE CUENTAN CON ELEMENTO DE RECHAZO
5. RK-5 (DOBLE ELEMENTO) TIEMPO RETARDO 10 SEG. A 500%
6. NO RENOVABLES.
7. ETIQUETADO COMO LIMITADOR DE CORRIENTE.

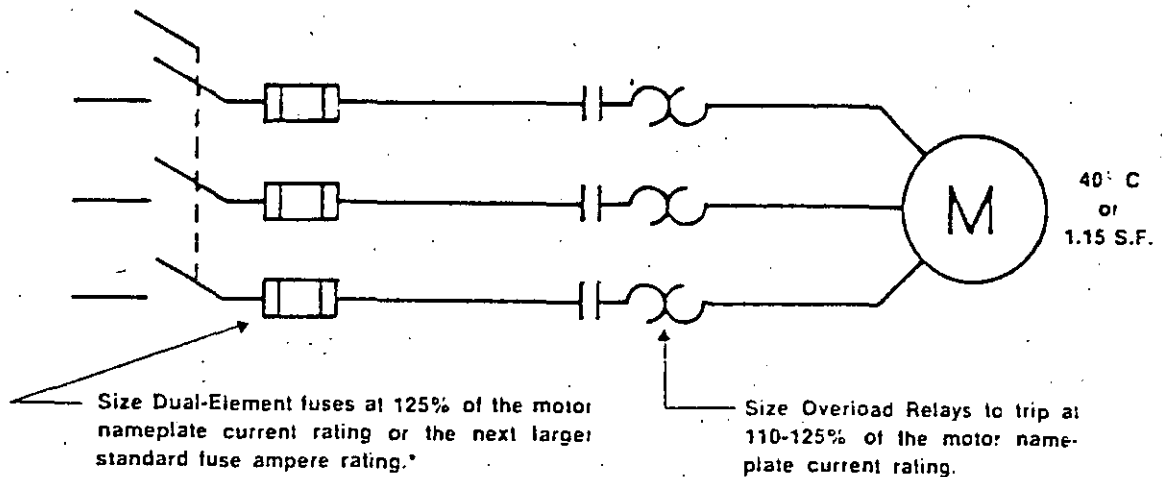
# PROTECCION AL MOTOR

(2)

## PARA MOTORES DE 40°C O 1.15 F.S.

RELEVADOR TÉRMICO DE SOBRECARGA.- DEBERÁ DISPARAR A 110-125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR.

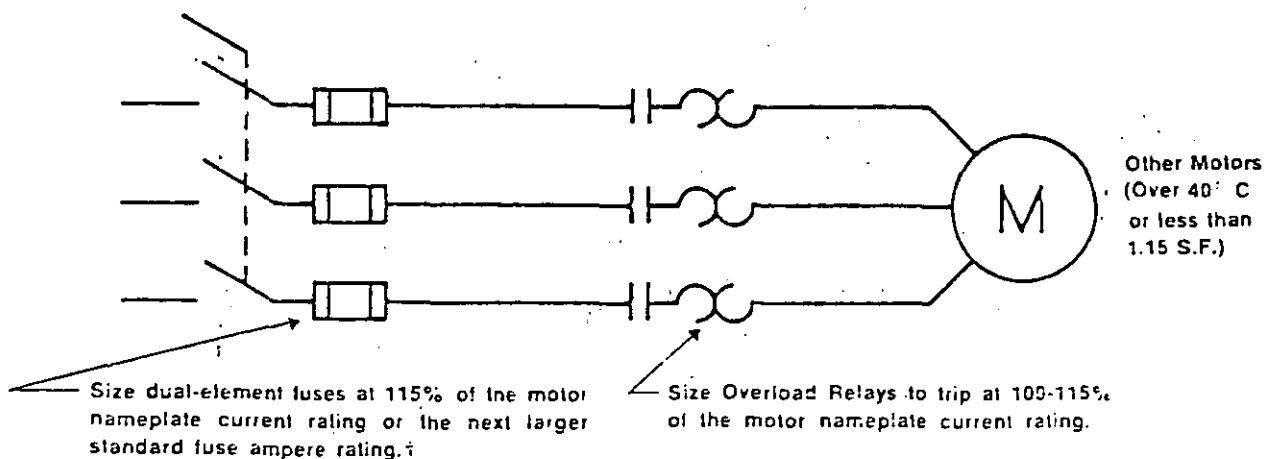
FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERÁ SER 125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR O LA SIGUIENTE CORRIENTE NOMINAL ESTANDARD DEL FUSIBLE.



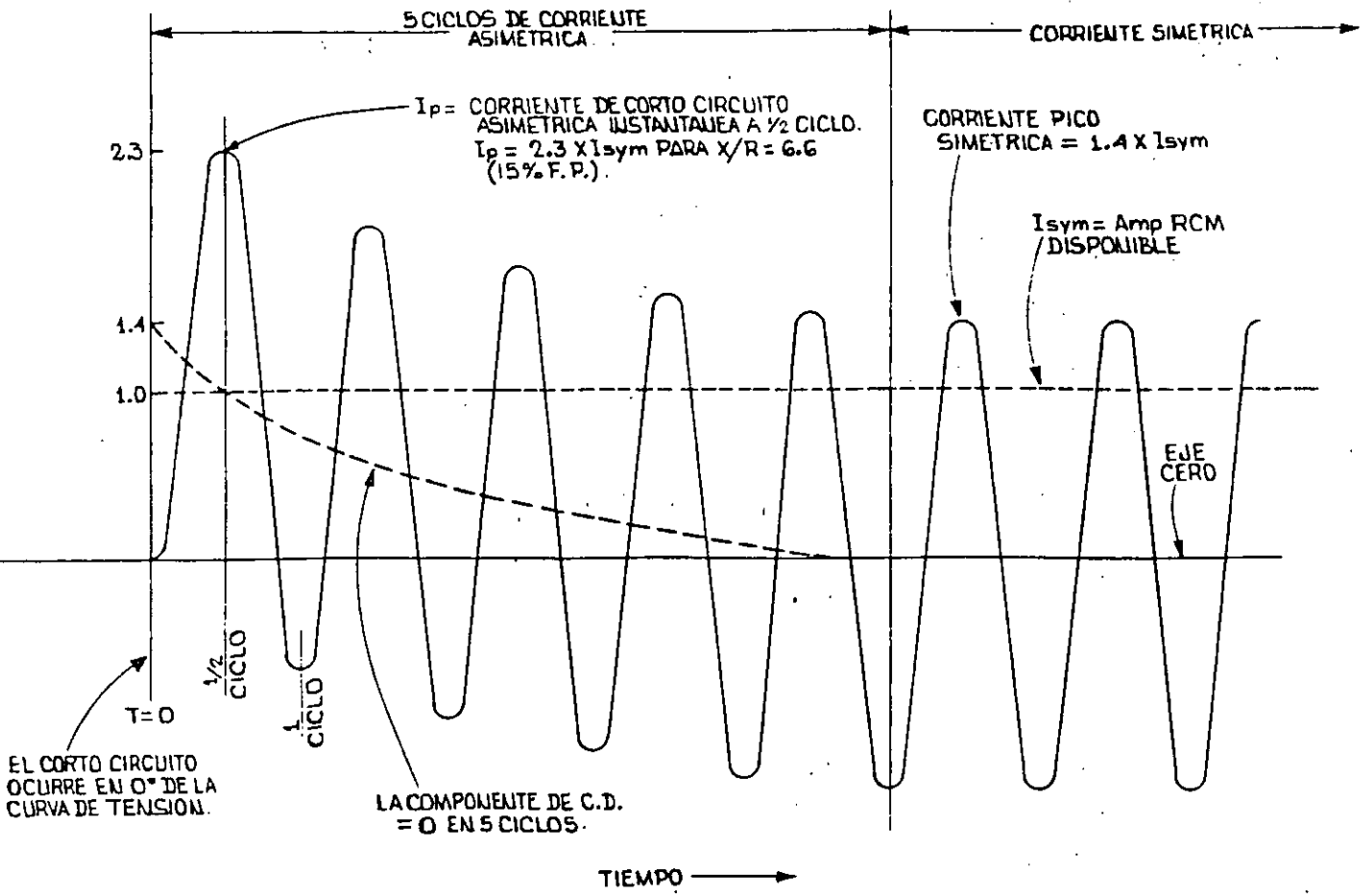
## OTROS MOTORES DE MAS DE 40°C O FACTOR DE SERVICIO MENOR A 1.15 F.S.

RELEVADOR TÉRMICO DE SOBRECARGA.- DEBERÁ DISPARAR A 110-125% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR.

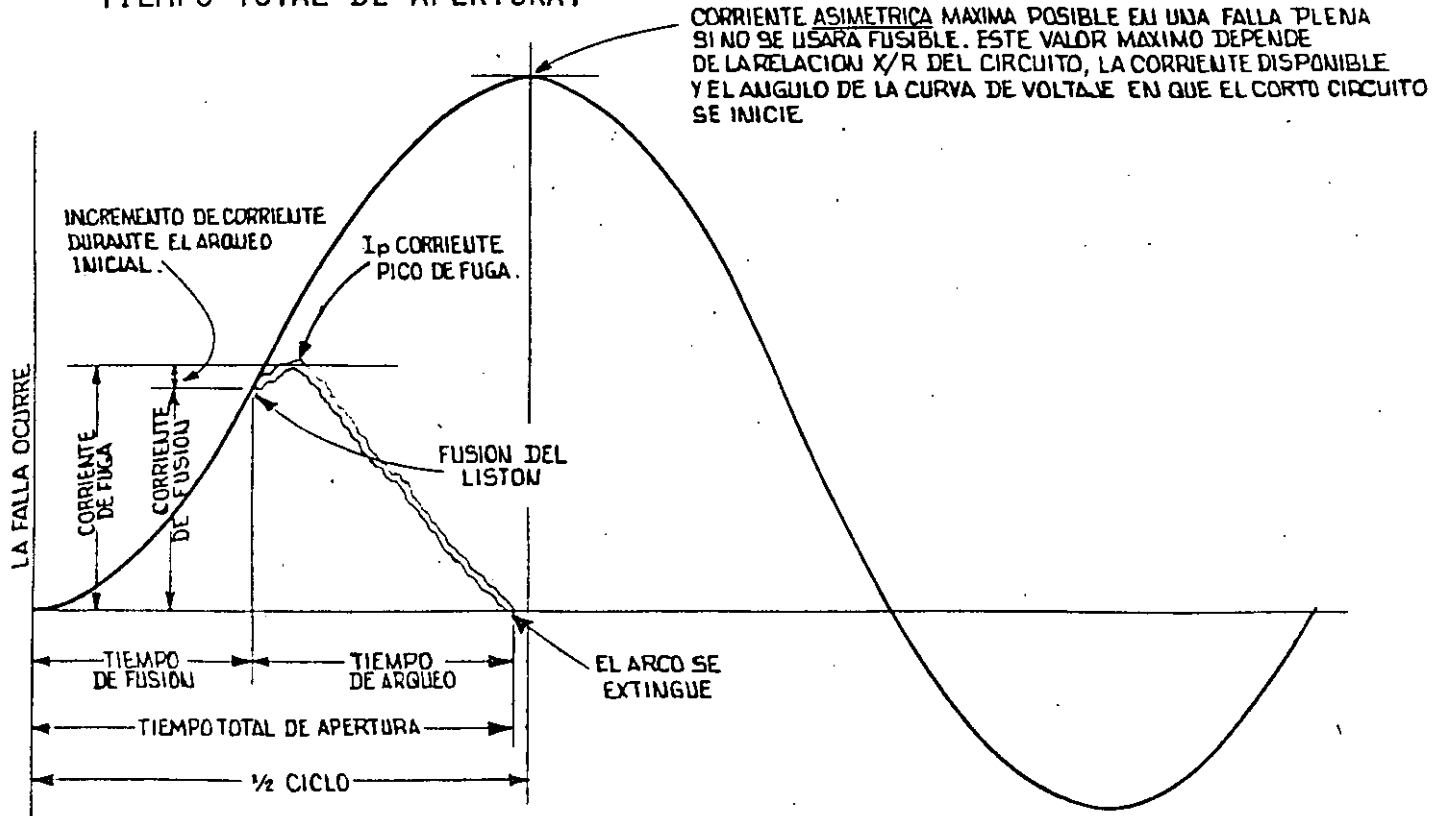
FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERÁ SER 115% DE LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR O LA SIGUIENTE CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE.



# CORRIENTE DE FALLA ASIMETRICA: CIRCUITO CON RESISTENCIA Y REACTANCIA



## LIMITACION TYPICA DE CORRIENTE MOSTRANDO LA CORRIENTE DE FUGA Y EL TIEMPO TOTAL DE APERTURA,

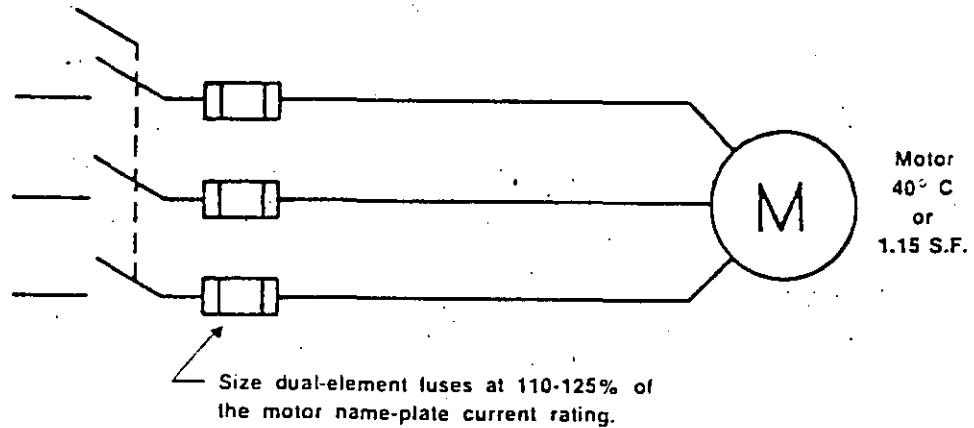


# PROTECCION AL MOTOR

(4)

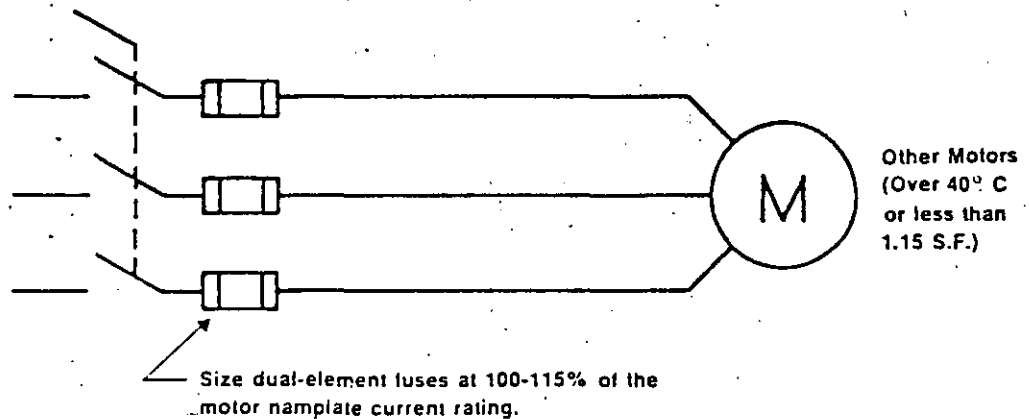
## PARA MOTORES DE 40°C O 1.15 F.S.

FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERA SER 110-125% DE PLENA CARGA DEL MOTOR.



## OTROS MOTORES DE MAS DE 40°C O FACTOR DE SERVICIO MENOR A 1.15 F.S.

FUSIBLE DOBLE ELEMENTO.- LA CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE DEBERA SER 110-115% DE PLENA CARGA DEL MOTOR.



(5)

PROTECCION AL MOTOR.

NEC. TABLAS 430-148      INDICAN QUE EL FUSIBLE QUE PROTEGE EL  
                              -149      CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR, NO DEBERA  
                              -150      EXCEDER EL PORCENTAJE DE LA CORRIENTE  
   DE PLENA CARGA SIGUIENTE:

CUANDO LA CORRIENTE DE PLENA CARGA DEL MOTOR ES:

MENOR DE 9 AMPERES	170%
9.1 AMPERES - 20 AMPERES	156%
MÁS DE 20 AMPERES	140%

CORRECCION POR TEMPERATURA (FUSIBLE DOBLE ELEMENTO).

EL FUSIBLE ESTA DISEÑADO PARA OPERAR AL 100% DE SU CORRIENTE NOMINAL ENTRE 70 A 80 °F DE TEMPERATURA AMBIENTE, UN AMBIENTE A MAYOR TEMPERATURA REQUIERE DE CORREGIR EL VALOR DE LA CORRIENTE NOMINAL, CADA FABRICANTE DISPONE DE TABLAS PARA ELLO.



## BIBLIOGRAFIA

(6)

- 1.- APPLYING LOW-VOLTAGE FUSES  
HERMAN W REICHENSTEIN  
MC GRAW HILL.
- 2.- 1981 N.E.C. HANDBOOK  
NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.
- 3.- BOLETIN. FUSIBLES.  
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- 4.- CARTRIDGE FUSES A COMPENDIUM  
ECONOMY FUSE DIVISION  
FEDERAL PACIFIC ELECTRIC CO.
- 5.- BOLETIN SP81 ELECTRICAL PROTECTION HANBOOK  
BUSS FUSE.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

TEMA 10: SISTEMAS DE GENERACION DE EMERGENCIA Y NO INTERRUMPIBLES

ING. JUAN JOSE QUEZADA RAMIREZ

MAYO, 1985

SISTEMA DE EMERGENCIAINDICEPAGINA

1.- DEFINICION DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA.....	1
2.- APLICACION DE LOS SISTEMAS DE EMERGENCIA Y SU JUSTIFICACION.	1
2.1.- ALUMBRADO EN LUGARES PUBLICOS Y PLANTAS INDUSTRIALES.....	4
2.2.- PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO DE SUMINISTRO DE SERVICIOS EN -- PLANTAS.....	5
2.3.- TRANSPORTACION EN EDIFICIOS Y LUGARES PUBLICOS (ELEVADORES, ESCALERAS, ETC.).....	5
2.4.- SISTEMAS DE SERVICIOS VITALES EN PROCESOS INDUSTRIALES.....	6
2.4.1.- SISTEMAS DE CALEFACCION.....	6
2.4.2.- SISTEMAS DE REFRIGERACION.....	6
2.4.3.- PRODUCCION.....	7
2.5.- AIRE ACONDICIONADO.....	8
2.6.- PROTECCION CONTRA INCENDIO.....	9
2.7.- SUMINISTRO DE ENERGIA PARA SISTEMAS DE COMPUTO.....	10
2.8.- SISTEMAS DE COMUNICACION.....	12
2.9.- SISTEMAS DE SEÑALIZACION.....	12
3.- SISTEMAS TIPICOS DE EMERGENCIA.....	14
3.1.- GENERACION POR MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.....	17
3.1.1.- MOTORES DE PISTONES DE CUATRO TIEMPOS DE GASOLINA, DIESEL Y GAS.....	17
3.1.2.- GENERACION POR TURBINAS.....	17
3.2.- SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA MECANICA.....	24
3.2.1.- SISTEMA INERCIAL SIMPLE.....	24
3.2.2.- SISTEMA INERCIAL DE FRECUENCIA CONSTANTE.....	24
3.2.3.- SISTEMA INERCIAL SOPORTADO POR BATERIAS.....	25
3.3.- SISTEMAS DE BATERIAS.....	27
3.4.- SISTEMAS ININTERRUMPIBLES (UPS).....	30
4.- PROTECCION.....	43
4.1.- PROTECCION CONTRA SOBRECARGAS EN LOS SISTEMAS.....	43
4.2.- EQUIPO DE TRANSFERENCIA.....	43
4.3.- GENERACION.....	47
4.4.- PRIMOTOR.....	48
4.5.- SISTEMAS ININTERRUMPIBLES (UPS).....	49
4.6.- SISTEMAS DE TIERRA.....	51
5.- EVALUACION TECNICO - ECONOMICA DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA..	59

## S I S T E M A . D E E M E R G E N C I A

### 1.- DEFINICION DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA.

Un Sistema de Emergencia consiste en Equipo y Circuitos destinados a proporcionar, distribuir y controlar la Energía Eléctrica de la Iluminación y/o La Energía que requieren las maniobras cuando el Suministro Normal de Energía se interrumpe.

Los Sistemas de Emergencia generalmente se instalan en lugares de reunión de personas donde se requiere Iluminación Artificial para la Seguridad y el Control del Pánico. En Edificios sujetos a la ocupación de un gran número de personas, como son : Hoteles, Teatros, Auditorios, Estadios, Hospitales e Instituciones similares. Los Sistemas de Emergencia también pueden proporcionar Energía Eléctrica para funciones tales, como : Ventilación, cuando es necesaria para el Mantenimiento de la vida, La Detección de Fuego, Sistemas de Alarma, Los Elevadores, Las Bombas de Agua contra Incendio, Los Sistemas de Comunicación y los Procesos Industriales.

### 2.- APLICACION DE LOS SISTEMAS DE EMERGENCIA Y SU JUSTIFICACION.

Debido al Crecimiento y Complejidad de los Sistemas de Suministro y utilización de la Energía Eléctrica, y consecuentemente de la necesidad de una mayor Confiabilidad y Disponibilidad de la Energía. Es importante entender los principios básicos de la aplicación y selección de los Sistemas de Emergencia.

Los factores principales que determinan la aplicación de los Sistemas de Emergencia son :

A).- El hacer frente a los Reglamentos, Codigos y Leyes que regulan estas necesidades.

B).- El mantener la Seguridad y la Salud de las personas presentes durante la falla de los Sistemas de Suministro.

C).- La Reducción de las pérdidas al mantener la Energía en los Procesos de : Manufacturera, Computación, Servicios, Etc., Cuando el Suministro Normal de Energía Falla.

Los Puntos "B" y "C" requieren de un Estudio de Evaluación de car--gas para poder determinar las necesidades particulares de cada usuario. Para tal cometido posteriormente se ofrece una guía de aplicaciones.

Los factores principales que deben considerarse en la Selección de los Sistemas de Emergencia son :

A).- Las características y la importancia relativa de las Cargas -- Conectadas.

B).- Las Tolerancias en tiempo de fuera de servicio de las cargas.

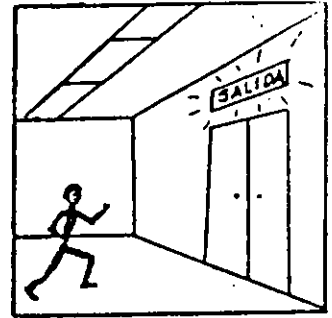
C).- La facilidad de Instalación y Mantenimiento de los Sistemas. - (Incluyendo su Capacidad de Incremento).

D).- Sus Ventajas Económicas.

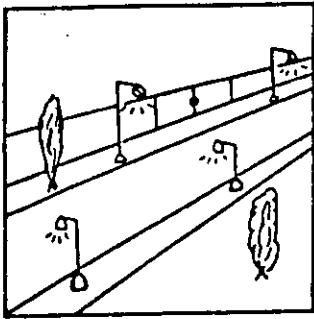
2.1.-ALUMBRADO DE EMERGENCIA EN LUGARES PUBLICOS Y PLANTAS INDUSTRIALES

4

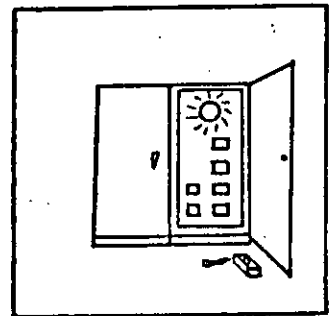
1.-ALUMBRADO DE EVACUACION DE PERSONAL.



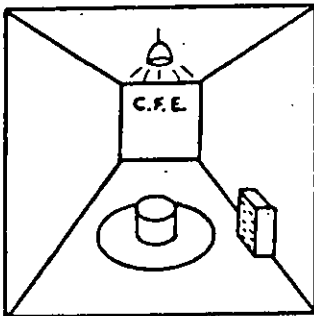
2.-ALUMBRADO PERIMETRAL Y DE SEGURIDAD.



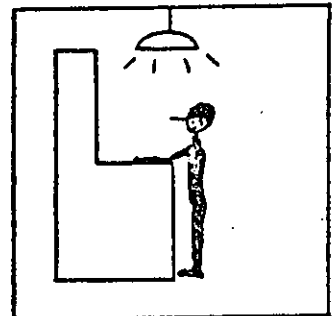
3.-ALUMBRADO DE RESPALDO PARA REPARACION DE EQUIPO.



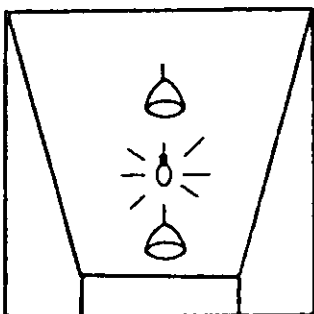
4.-ALUMBRADO PARA PRODUCCION.



5.-ALUMBRADO PARA REDUCIR RIESGOS AL OPERAR LAS MAQUINAS.



6.-ALUMBRADO SUPLEMENTARIO PARA LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD.



2.1.- Alumbrado en lugares Públicos y Plantas Industriales. La Evaluación de la Calidad y Cantidad, del Tipo y de la duración de la Energía de Emergencia para el Alumbrado, es encesaria para cada Aplicación en Particular. Fig. 2.1-2

2.1.1.- Alumbrado de Evacuación de Personal. El Proposito del Alumbrado de Emergencia para la evaluación es la de evitar Lesiones o Perdidas de Vida, por lo que debe entrar automaticamente al fallar el Suministro Normal. El Alumbrado de Emergencia para la Evaluación debe suministrar la suficiente Iluminación para permitir una facil y segura salida del Area en Consideración.

2.1.2.- Alumbrado Perimetral y de seguridad. El Alumbrado Perimetral y para la Seguridad debe ser el necesario para reducir : El Riesgo de Lesiones, Robos y Daños a la Propiedad. Este puede no requerirse hasta unos minutos después de ocurrida la falla. Es necesario mantener el Alumbrado Perimetral por todo el tiempo que dura la Obscuridad.

2.1.3.- Alumbrado de Respaldo para reparación del Equipo, la Iluminación para reparación debe instalarse en Areas donde sea más probable que existan fallas en el Sistema y en el Interruptor principal. Este requisito se Justifica por la necesidad de tener la suficiente luz para reparar el equipo cuya falla causo la perdida del Alumbrado Normal.

2.1.4.- Alumbrado para la Producción. La interrupción del Alumbrado normal puede causar serios cortes en la Producción o la pérdida total de ella. Donde no exista riesgo de la Seguridad Humana ó daños en la propiedad, la decisión de su instalación se debe basar en la Evaluación Económica de cada caso en particular. El Nivel de Iluminación debe permitir que la producción contiene ininterrumpidamente.

2.1.5.- Alumbrado para reducir riesgos al operar la Maquinaria. El Operador de una máquina puede estar expuesto a un alto riesgo en los primeros segundos después de haber ocurrido la falla del Alumbrado Normal.

2.1.6.- Alumbrado Suplementario para Sistemas con lámparas de descarga de - alta intensidad. Si se utilizan lámparas de mercurio en el Sistema de Alumbrado Normal, se deben considerar lámparas incandescentes o fluorescentes - para el Alumbrado de Emergencia debido a que algunas lámparas de descarga - de Alta Intensidad requieren un periodo de enfriamiento antes de poder restablecer el arco y un periodo de calentamiento antes de alcanzar su completa luminosidad.

2.2.- Puesta en marcha del Equipo de Suministros de Servicios en Plantas.

2.2.1.- Introducción. Piense ¿ Que pasaría con una caldera "FRÍA" ó con una planta "MUERTA", sin Energía Eléctrica o vapor ? Esta premisa indica algunas preguntas muy importantes que deben contestarse al estar diseñando los Sistemas de Emergencia. Otras preguntas similares serían :

(1).- Un Generador de Turbina de Gas ha sido instalado pero ¿ Como puede Arrancar sin una turbina de vapor, un motor Eléctrico u otro primotor que lo lleve a su velocidad de puesta en Operación ?

(2).- Un Generador de vapor de arranque manual, pero sin aspiración mecánica de control. ¿ Cómo puede Arrancarse ?

(3).- Si los impulsores, de vapor o Eléctricos, de las Bombas contra incendio estan fuera de servicio, no pueden ofrecer mayor protección hasta que la Energía Eléctrica haya sido restablecida.

Estas declaraciones ilustran que la Energía de Emergencia para puesta en Operación es una de las consideraciones más importantes en el Diseño de una Planta. (Fig. 2.2-1)

2.3.- Transportación en Edificios y Lugares Públicos.

Elevadores.- Cuando existen dos o más elevadores en edificios de tres o más pisos, estos deben conectarse a fuentes separadas. En caso de presentarse situaciones donde se requiera energía de respaldo para todos los elevados--



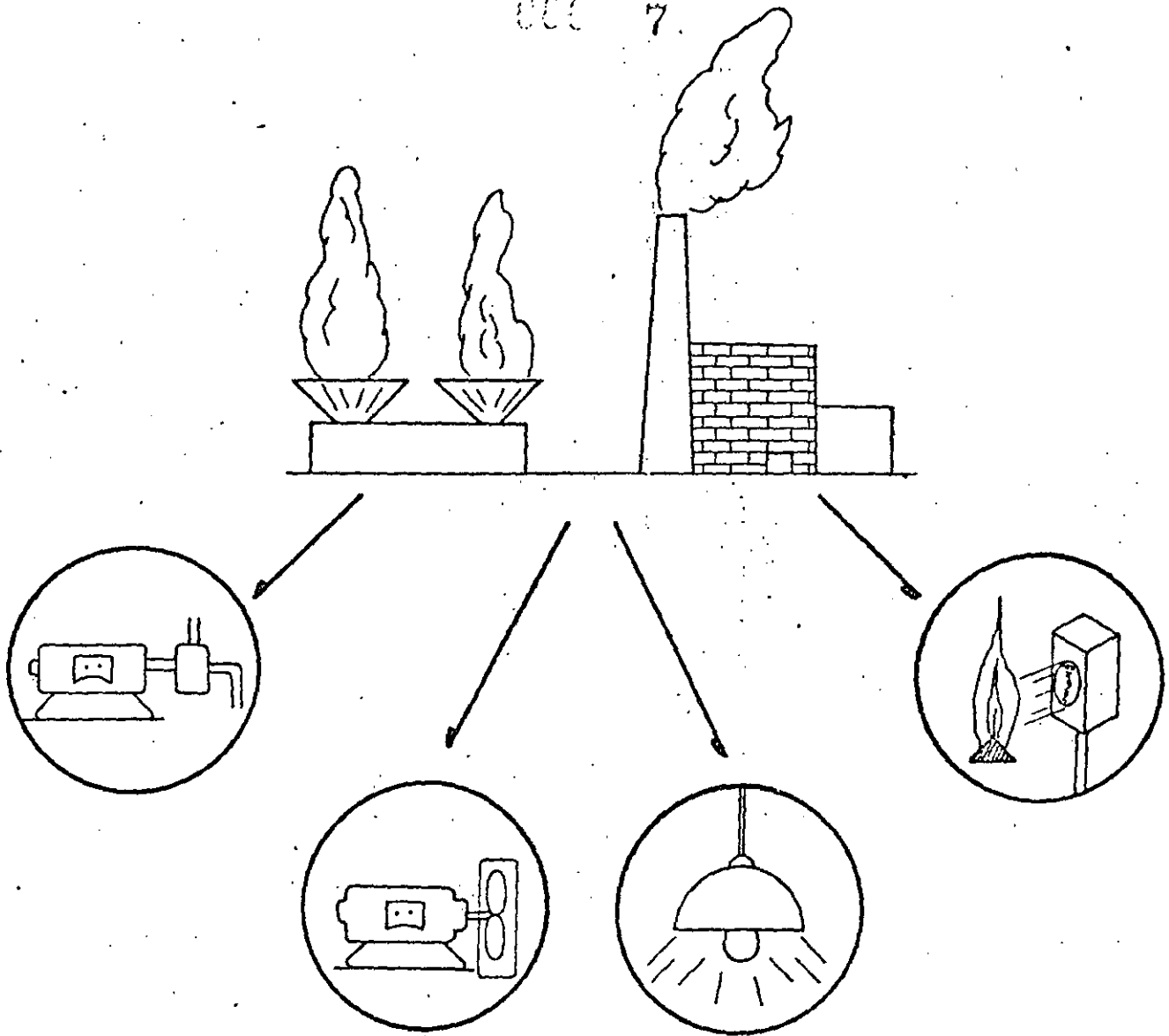


FIG. 2.2.1

2.2.-ENERGIA DE EMERGENCIA PARA PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO DE SUMINISTRO EN LAS PLANTAS.

8  
res es necesario poder suministrársela en 15 segundos.

Se pueden lograr ahorros de energía durante una falla conectando a la fuente la mitad de los elevadores, si se ha previsto que el tránsito de personas pueda ser desviado y la capacidad de los elevadores es la adecuada. La energía debe transferirse al transformador de respaldo un minuto después de la falla del suministro para poder desalojarlo. Una vez desalojado puede dejar de utilizarse hasta que retorne la energía normal.

Cuando el servicio de elevadores es crítico para el personal y los pacientes de un hospital, se debe tener un interruptor de transferencia automática con supervisión manual.

2.3.2.- Escaleras Eléctricas.- Las escaleras eléctricas no requieren energía de emergencia.

## 2.4 SISTEMAS DE SERVICIOS VITALES EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.

2.4.1.- Sistema de Calefacción.- Los procesos continuos de las plantas industriales necesitan con frecuencia una producción continua de vapor. Los requisitos para la producción continua de vapor son: aire suficiente para la combustión, aire para los instrumentos actuadores, suministro de agua y combustible y suministro continuo de energía eléctrica para la supervisión de la flama. La máxima interrupción de energía tolerable es: El tiempo en que la inercia de los ventiladores o equipo de bombeo puede mantener el flujo o presión del sistema por arriba de los límites mínimos.

Los procesos de calentamiento no críticos debido a necesidades inherentes de tales sistemas, pueden resistir interrupciones de energía de 5 minutos a un máximo de algunas horas.

Otros procesos de calentamiento como los utilizados en la industria textil, son de tal naturaleza que las pérdidas de calor del orden de 10 segundos, causa que el producto quede fuera de especificación. Cabe mencionar que los quemadores de gas y detectores de flama, continúan siendo sensibles a caídas de tensión del orden de 40% o mayores durante períodos de hasta un segundo o menos.

2.4.2.- Sistemas de Refrigeración.- Las necesidades de refrigeración usualmente no son críticas para interrupciones de energía de minutos a algunas horas. Sin embargo, estas necesidades pueden hacerse críticas conforme dure la falla. En general puede considerarse un sistema de emergencia en:

(1) Los alimentos almacenados en restaurantes que requieren refrigeración y que puedan verse afectados si la pérdida de energía se prolonga.

(2) La producción de helados o comida congelada no puede--- quedar a la mitad de su proceso, debido a que la producción puede-- perderse durante la falla, o en su defecto, retrasarse.

(3) Las pruebas científicas de larga duración que requieran una continuidad para obtenerlas.

(4) Cuando en ciertos procesos químicos los aumentos de temperatura puedan causar daños severos o explosiones.

En todos estos casos se requiere que los generadores de emergencia sean arrancados como mínimo de manera manual y supervisados-- por un sistema de alarmas que notifique a la persona responsable la pérdida de refrigeración .

2.4.3.- PRODUCCION.- La prevención de pérdidas en la producción debidas a fallas en los voltajes de suministro se justifican con la suma total de los ahorros o beneficios al no suspender la producción.

A continuación se dan algunos puntos a considerar en la aplicación de fuentes de emergencia o respaldo.

(1) La pérdida por el pago de salarios no devengados en la producción durante el tiempo de falla.

(2) Las pérdidas monetarias y en prestigio ante los clientes que no reciben el producto o lo reciben tarde.

(3) Los costos de los materiales arruinados.

(4) Tiempo perdido por el retraso en la producción.

(5) Tiempo de restitución o puesta en marcha nuevamente del proceso productivo hasta alcanzar la que se tenía antes de la falla.

A menudo en las plantas industriales grandes, se requiere energía eléctrica confiable para;

a) Las compresoras de aire para la energía neumática.

b) Bombas de agua de pozos y/u otras fuentes para procesos industriales, sistemas contra incendio, maniobras del personal operario, etc.

c) Sistemas de suministro de combustible y aire para la -- combustión .

- d) Sistemas de suministro de vapor
- e) Sistemas de ventilación
- f) Transportadores de materias primas en sus procesos de---  
acabado.

## 2.5 AIRE ACONDICIONADO.

El acondicionamiento del espacio es el control del medio ambiente para mantener las condiciones estándar o alterar artificialmente los estándares del ambiente en edificios, habitaciones u otros lugares cerrados. El control del medio ambiente puede--- incluir cualquiera de las siguientes variables.

- a) Temperatura
- b) Contenido de vapor
- c) Ventilación
- d) Iluminación
- e) Sonido
- f) Olor
- g) gas
- h) Polvo
- i) Organismos.

Las cargas de aire acondicionado para el confort del personal normalmente no se consideran como críticas. Sin embargo, donde el equipo instalado es sensible a la temperatura, tal es el caso de equipos con componentes de estado sólido, el acondicionamiento de aire puede ser crítico. No se requiere una fuente ininterrumpible para este propósito debido a que la pérdida de energía no causa cambios instantáneos de temperatura. A menudo la energía necesaria para el acondicionamiento ambiental, es importante para definir los requisitos de potencia de las fuentes de emergencia y el usuario debe evaluar hasta sus últimas consecuencias la pérdida de energía.

Ejemplos donde el acondicionamiento de aire puede justificarse son los siguientes:

(1) En las instalaciones de comercio o laboratorios de horticultura con un ciclo programado de temperatura, humedad e iluminación para obtener el rendimiento de la cosecha o los resultados -- deseables de experimentación.

(2) Donde los cambios de temperatura e iluminación de -- los ciclos establecidos pueden inducir periodos de reproducción no esperados como en el caso de la industria avícola.

(3) Los criaderos de animales tropicales que requieren control de temperatura, ventilación, humedad e iluminación especiales.

(4) Las operaciones finales y empaquetamiento de material ----- susceptible de contaminación en "cuartos limpios"; donde la interrupción de energía para la producción industrial o bien la operación del equipo de control de contaminación, se pueden ver afectados y provocar salida del personal.

(5) En las construcciones sin ventanas o en cuartos donde pueda haber peligro para los ocupantes durante una falla prolongada.

## 2.6.- PROTECCION CONTRA INCENDIO.

Existen normas, reglamentos y leyes que regulan los usos de los sistemas de emergencia para sistemas contra incendio. Pero la meta real es la de abolir un fuego destructivo bajo el hecho de que el fuego que empiece pueda ser confinado en el área con un mínimo de daños al personal y la propiedad. En tales casos los conocimientos de los jefes de planta respecto a los riesgos y facilidades que ofrecen los procesos y distintas áreas a los incendios; puede ser de gran ayuda a fin de reducir las probabilidades de fuego y la extensión de los daños.

Las necesidades eléctricas específicas de los sistemas -- contra incendio podrían resumirse como sigue:

(1) Energía Eléctrica (generalmente baterías) para poder -- arrancar los sistemas de control de las bombas.

(2) Sistemas de alarma y rociadores de flujo.

(3) Energía para los sistemas de comunicación a fin de no notificar a los departamentos implicados con los incendios (bomberos, - auxilios médicos, policía, etc.), como guías de asistencia en estos -- simiostros.

(4) Iluminación para facilitar las actividades, en los edi ficios y áreas circundantes durante el incendio.

(5) Energía para las bombas de pozos o tanques de agua.

(6) Compresores de aire asociados con tanques de agua a -- presión para sistemas contra incendio del tipo hidroneumático.

(7) Comunicación para desalojo del lugar. (altavoces)

(8) Detectores de fuego, gases, calor o humo.

(9) Alarmas.

(10) Válvulas de diluvio.

## (11) Compuertas, puertas, etc, operadas eléctricamente,

Un conato de incendio casi siempre garantiza el inicio del paro de actividades en el lugar en que se presente y es por esto que los requerimientos de energía son obviamente críticos especialmente en los circuitos de los sistemas contra incendio y en las vitales comunicaciones para la seguridad de las personas. Por estas razones se hace indispensable el considerar las demandas de energía bajo un sistema de emergencia.

2.7.- SUMINISTRO DE ENERGIA PARA SISTEMAS DE COMPUTO.

Computadoras, equipos de procesamiento de datos, bancos de memoria de datos y una variedad de modernos equipos de estado sólido son sensibles a mínimas variaciones de voltaje y frecuencia. Estos sistemas requieren de un suministro continuo de energía- usualmente esta se satisface mediante una fuente de emergencia en el caso de que la alimentación normal falle.

Para satisfacer las necesidades de los sistemas de cómputo, se dispone de una amplia variedad de equipo como son:

Aisladores de ruido.- Son dispositivos que emplean técnicas de aislamiento para suprimir el ruido en la línea.

Reguladores de C.A.- Son esencialmente reguladores de tensión diseñados para proporcionar una baja distorsión y una rápida respuesta en la salida.

Centros de Distribución de Energía.- Son consolas modulares que centralizan la energía y el control del equipo del centro de cómputo. Pueden incluir uno o más acondicionadores de línea- Estos centros están usualmente provistos con un cable principal de entrada y llevan paneles de protección, interruptores y cables de salida.

Las unidades están normalmente construidas en una configuración modular y el rango de capacidades es desde pequeñas unidades portátiles de aproximadamente 1 KVA hasta unidades de 100 a 125 KVA. Fig. 2.7-1.

Sistema Ininterrumpible de Energía(UPS).- Están contruidos en módulos y son de capacidad limitada, generalmente entre los 200 VA hasta 500 KVA . Durante interrupciones del suministro de energía son capaces de proporcionar continuidad generalmente 15 minutos dependiendo de la carga conectada. La capacidad debe ser determinada en función del tiempo en que se requiera y la demanda del equipo que alimente.

Un equipo de esta naturaleza deberá proporcionar e-

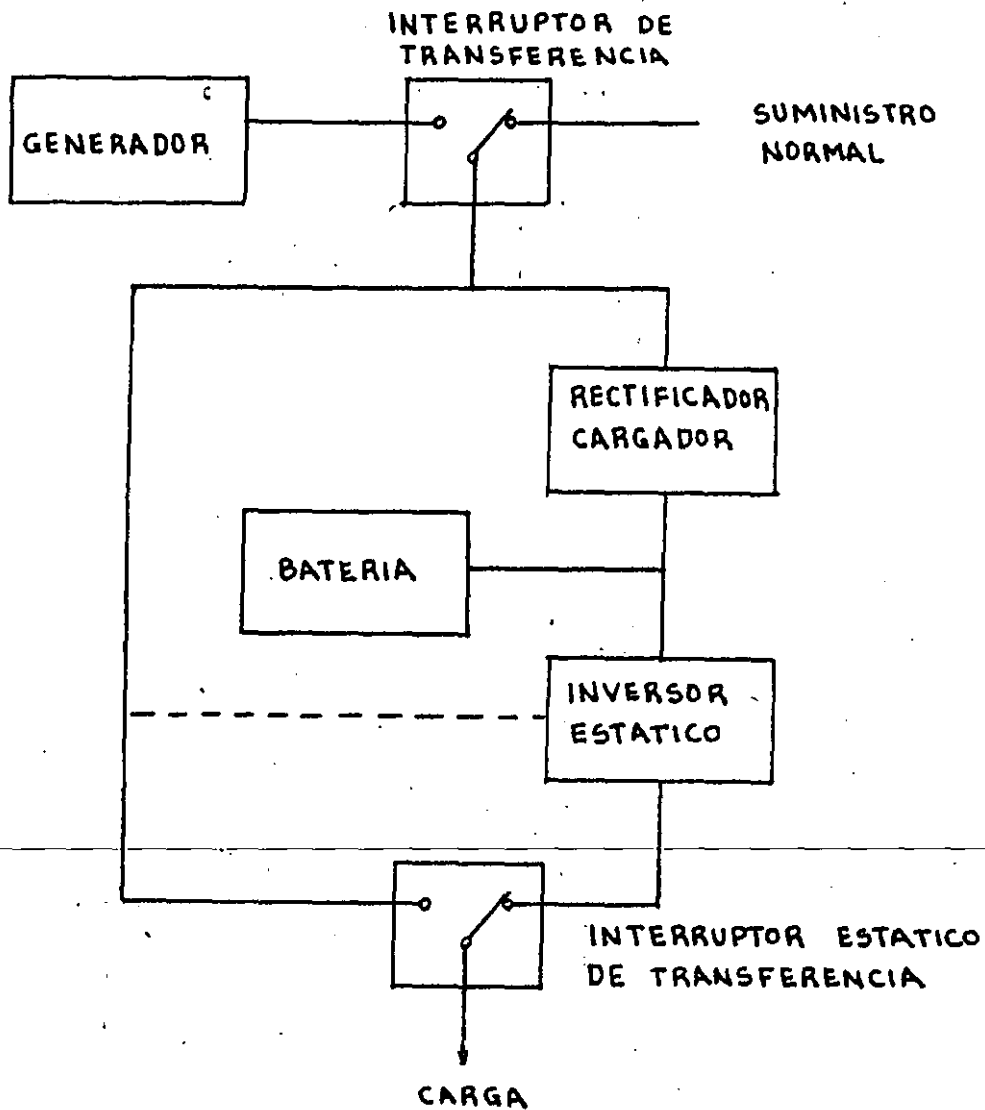


FIG. 2.7-1 DIAGRAMA UPS (UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY). EL SISTEMA ININTERRUPTIBLE DE ENERGIA ASEGURA EL SUMINISTRO CONTINUO DE ENERGIA A COMPUTADORAS Y A OTRAS CARGAS CRITICAS.

nergía de manera ininterrumpida a computadoras y otras cargas críticas sin afectar el funcionamiento normal de estos equipos. El funcionamiento y arreglos principales se tratan en el inciso 3.4 del presente trabajo.

## 2.8.- SISTEMAS DE COMUNICACION.

Los sistemas de comunicación son aquellos medios que requieren energía para la transmisión y/o recepción de información verbal, escrita o de producción de imágenes. Los sistemas más comunes de este tipo son:

- (1) Teléfonos
- (2) Teletipos
- (3) Radio
- (4) Televisión

Las necesidades de uno o de todos los sistemas de comunicación arriba enlistados, durante una falla de energía pueden justificar el costo del sistema de energía de emergencia. La necesidad de un sistema de emergencia para las comunicaciones es indispensable cuando se dan respuestas satisfactorias a las siguientes preguntas:

- (1) ¿ Se necesita un equipo de comunicación para: ?
  - (a) Dar ordenes para salidas de procesos o equipos.
  - (b) Para pedir ayuda, advertir y coordinar las maniobras en caso de fuego, disturbios, vandalismo u otras tareas para seguridad del personal de la planta.
- (2) ¿ Como pueden enviarse o recibirse mensajes vitales a una planta remota concernientes a la producción,
- (3) ¿ Como puede encontrarse a la persona clave, o darle instrucciones?, ¿ Como ese personal reporta las condiciones a la central de control responsable?.

Muchas preguntas mas pueden hacerse acerca del mantenimiento de las comunicaciones en condiciones de emergencia, las cuales pueden ahorrar tiempos vitales y acelerar el retorno a las condiciones normales con un mínimo de confusión.

## 2.9.- SISTEMAS DE SEÑALIZACION

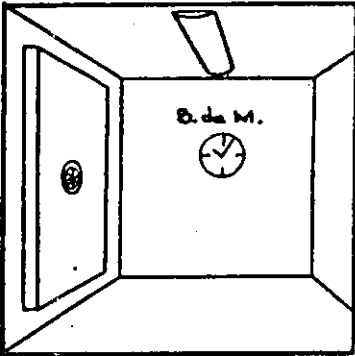
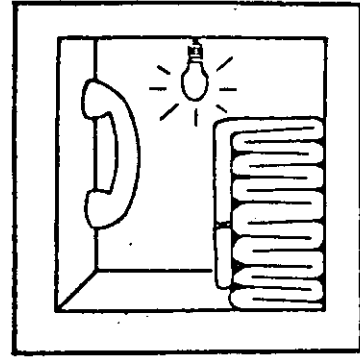
Los circuitos de señalización en comercios e industrias que requieren energía continua en menos de 1 minuto después de ocurrida la falla de suministro son:

- (1) Sistemas de alarma contra fuego
- (2) Sistemas de iluminación para vigilancia.
- (3) Sistemas de señalización en elevadores.

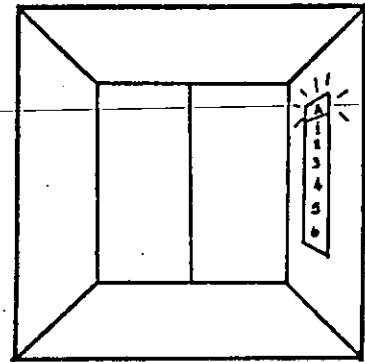


2.9- SISTEMAS DE SEÑALIZACION

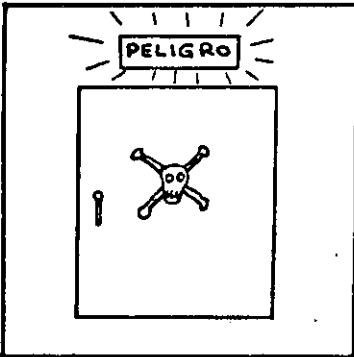
1- SISTEMAS DE ALARMA  
CONTRA FUEGO.



2- SISTEMAS DE ILUMI  
NACION PARA VIGILAN-  
CIA.

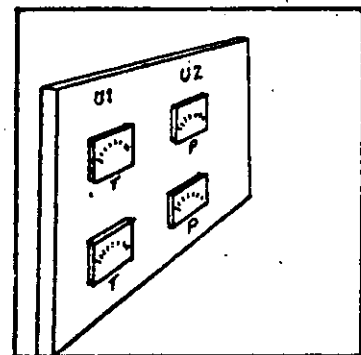


3- SISTEMAS DE SEÑALI-  
ZACION EN ELEVADORES.



4- SEÑALES EN PUERTAS.

5- INDICADORES REMOTOS  
DE NIVELES DE LIQUIDOS,  
PRESION, TEMPERATURA,  
ETC.



(4) Señales en puertas (de áreas de restricción como son las de calderas, laboratorios, etc., con cerraduras eléctricas).

(5) Indicadores remotos y locales de niveles de líquidos, de presión, de temperatura, etc. Fig. 2.9-1.

Muchos de los circuitos de señalización operan con caídas de voltaje de hasta un 70%, por lo tanto no requieren de relevadores especiales para su transferencia. Es recomendable que una fuente de energía suministre energía a todas las alarmas contra incendio y a los sistemas de seguridad.

### 3.- SISTEMAS TÍPICOS DE EMERGENCIA.

Los sistemas eléctricos de emergencia son de dos tipos básicos: (1) una fuente de energía eléctrica separada de la fuente primaria operando en paralelo con el suministro, mantiene la energía de las cargas en emergencia o críticas cuando la fuente primaria falla ó (2) una fuente de energía confiable en la cual las cargas críticas son rápida y automáticamente transferidas en el momento de la falla. (ver Figs. 3.0.1 y 3.0.2).

Los sistemas de emergencia se caracterizan por su rápida disponibilidad de energía eléctrica, pero esta es generalmente limitada y se distribuye en circuitos separados. Existen además sistemas que cuentan con otro de respaldo, sobre todo en los casos en que los tiempos de interrupción del suministro son muy prolongados. Esto es especialmente recomendable sobre todo en lugares muy aislados y con una alimentación radial de la compañía de suministro eléctrico.

Los sistemas de emergencia constan en general, de los siguientes componentes principales:

(1) Una fuente de energía eléctrica confiable y separada de la fuente primaria o principal.

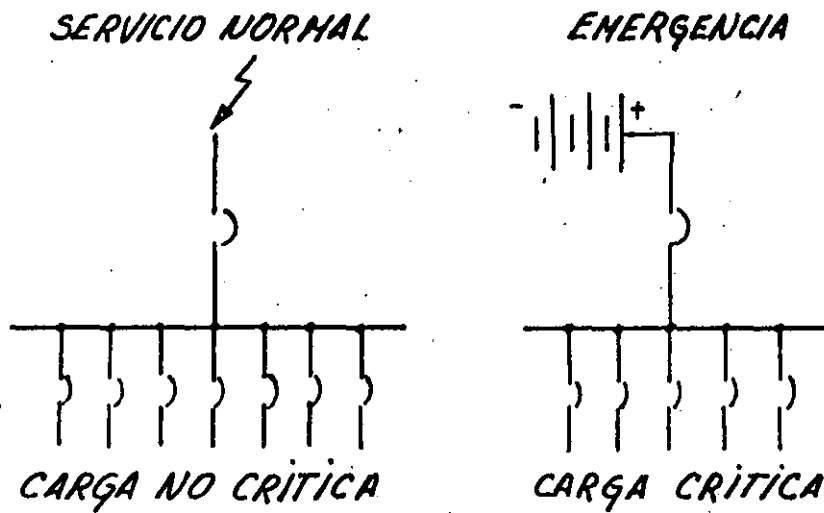
(2) Un control de arranque y regulación en caso de seleccionarse como fuente de respaldo un conjunto de generación propio e instalado en el lugar donde se va a utilizar.

(3) Controles que transfieran la carga de la fuente de emergencia a la primaria y viceversa. Fig. 3.0.3.

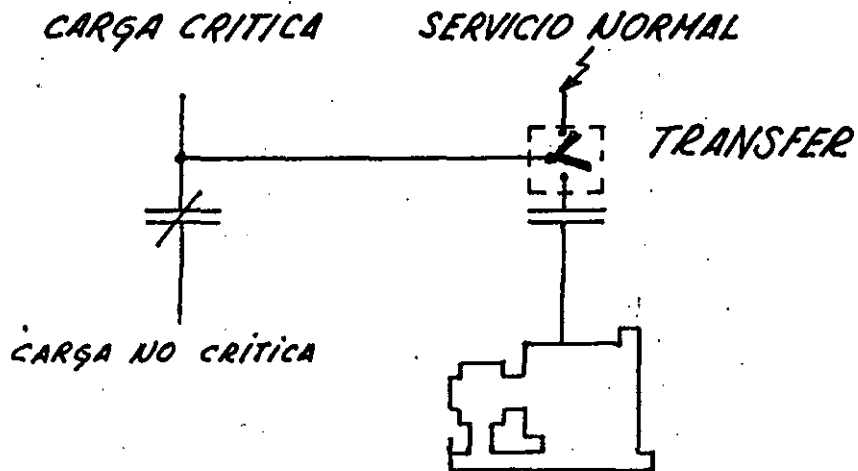
El equipo de generación propio generalmente está formado por un generador de C.A. impulsado por un primotor, el cual puede ser una máquina de combustión interna o una turbina de gas o vapor.

SISTEMAS TÍPICOS DE EMERGENCIA

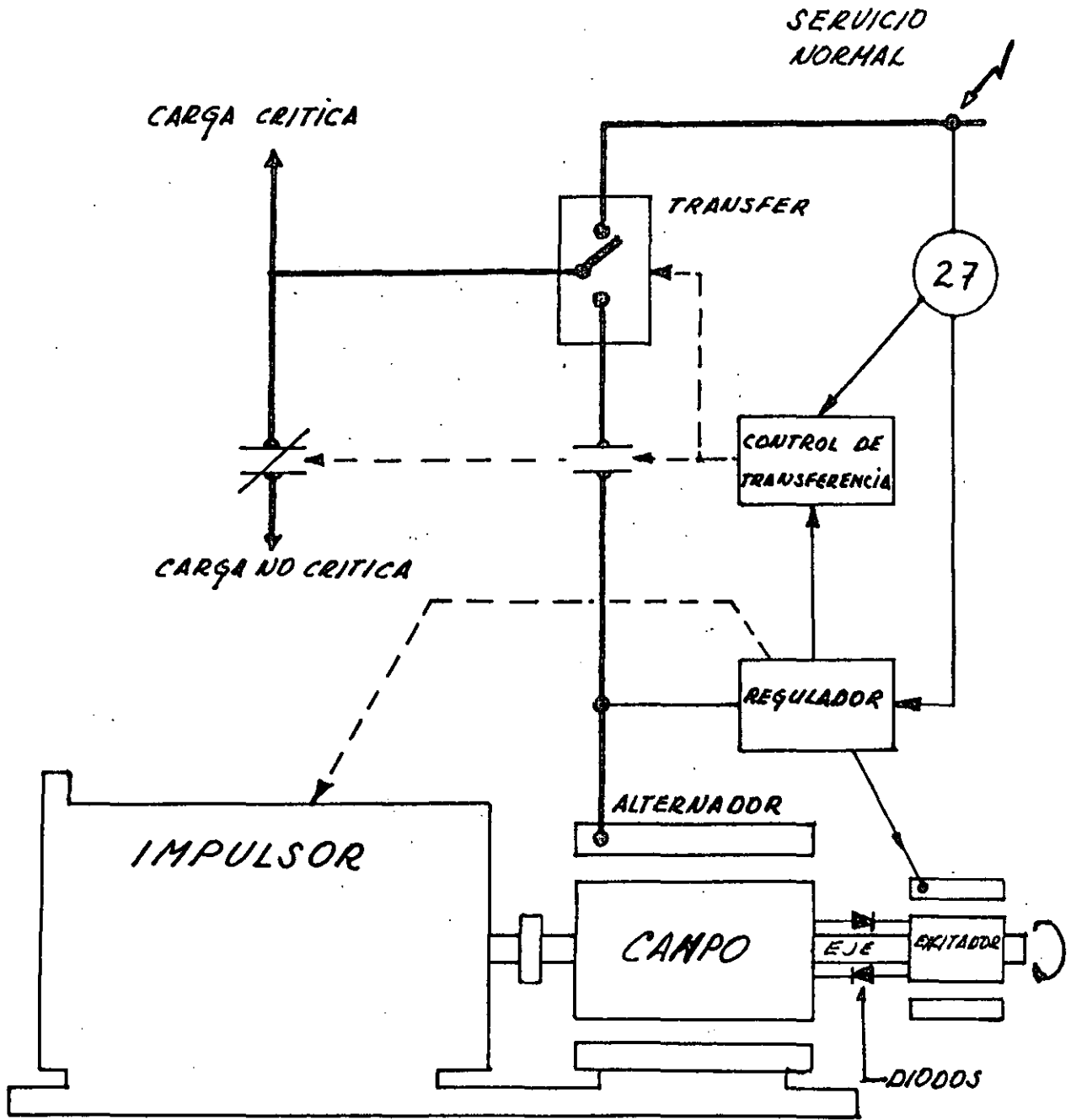
LOS SISTEMAS DE EMERGENCIA SON DE DOS TIPOS  
 TIPO 1 FIG. 3.0.1



TIPO 2 FIG. 3.0.2



COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA



3.1.- Generación por Motores de Combustión Interna.- El conjunto motor-generador acoplados a motores de combustión interna se fabrican desde 1 KVA hasta 1,000 KVA y pueden ser paralelados para proporcionar gran capacidad de energía. Regularmente son de motores de cuatro tiempos con combustibles de gasolina, diesel o gas.

Los motores de gasolina son satisfactorios para instalaciones pequeñas hasta 150 KVA. Arrancan rápidamente y tienen bajos costos iniciales. Sus desventajas son: altos costos de operación, grandes peligros asociados con el almacenamiento y manejo de gasolina y su necesidad de inspección y mantenimiento frecuente.

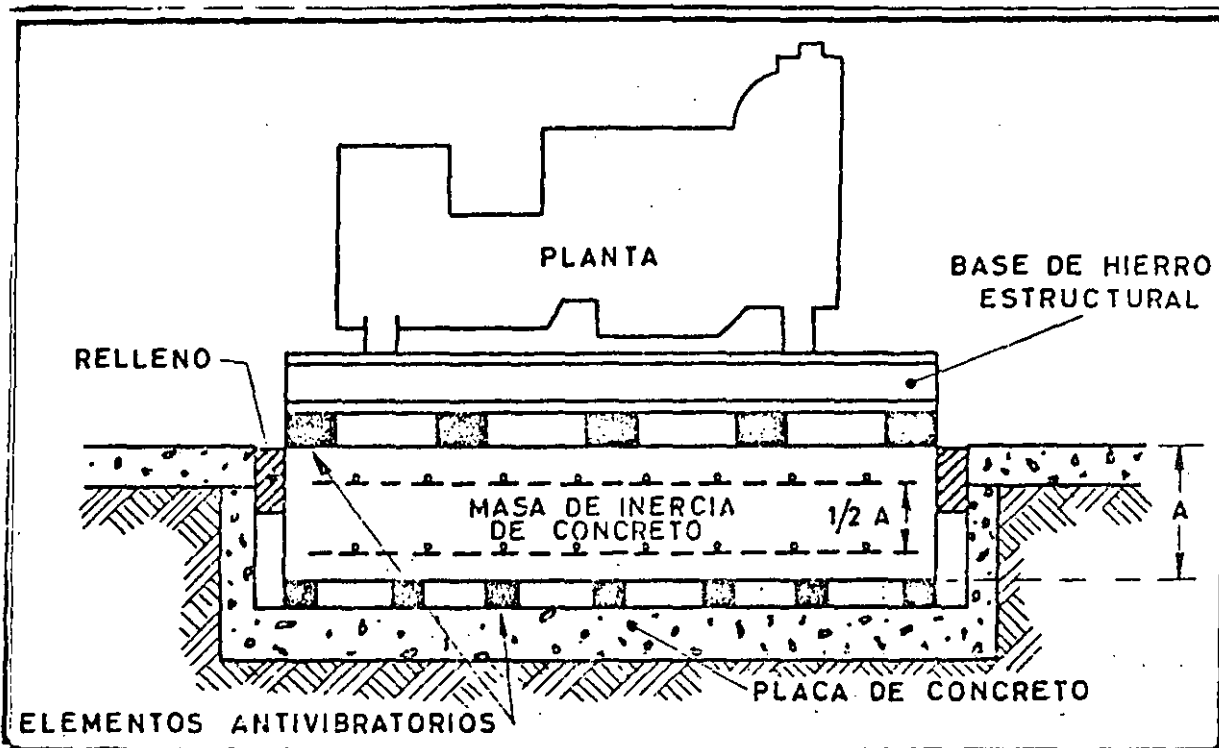
Los motores de gas natural y licuado de petróleo (L.P.),- tienen los mismos costos que los de gasolina aproximadamente y están disponibles hasta capacidades de 600 KVA. Pueden arrancar rápidamente después de un período prolongado de paro, debido a su combustible limpio. La vida del motor es más alta y requieren menos mantenimiento que el de gasolina.

Los motores diesel son un poco más costosos pero a la vez más robustos y confiables. El costo del combustible es menor y el peligro de explosión o incendio es muy reducido, en relación al de gasolina. Ver Tablas 3.1-1 y 3.1-2.

3.1.2.- Generación por Turbinas.- Las turbinas de gas - empiezan a tener una mayor aceptación como como primotores para unidades de soporte de energía. Son considerablemente más pequeñas y ligeras que los motores de pistones de potencia equivalente. No requieren agua para su enfriamiento, están virtualmente libres de vibraciones y pueden responder rápidamente a los cambios de carga. Su arranque puede ser automático o manual ( por un motor eléctrico energizado por baterías ó bien por un sistema de aire comprimido ó por un pequeño motor diesel).

Las turbinas de gas impulsoras de los generadores tardan de 40 segundos a varios minutos en poder tomar carga y se utilizan cuando se necesita energía por varias horas o días. Una alta temperatura de aire en la entrada así como la altitud a la que operen, puede reducir sustancialmente la potencia de salida y con esto su eficiencia; razón por la cual se deben de tomar en cuenta estas limitaciones al hacer el balance de las diferentes opciones de compra. A fin de ampliar los criterios de selección de las turbinas de gas, como impulsores, la tabla 3.1.2-1 nos ofrece una comparación de las ventajas y desventajas de las turbinas de gas Vs. los motores Diesel.

IMPULSORES DE COMBUSTION INTERNA



COMBUSTIBLE	K cal.	B.T.U.
Gasolina	7 654 / litro	115 000 / galón
Gas	22.3 / litro	2 500 / pie cub.
Diesel	9 319 / litro	140 000 / galón

K cal (Kilocaloría) = Cantidad de calor para elevar la temperatura de un Kilogramo de agua en un grado centígrado.

B.T.U. (British Thermal Unit) = Cantidad de calor para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

Factores para Conversión.

- 1 galón = 3.786 litros = 0.134 pies cúbicos.
- 1 libra = 0.454 Kg.
- 1 B.T.U. = 0.252 K cal.
- 1 K cal. = 3.968 B.T.U.
- 1 K cal./seg = 4.18 KW = 5.60 CF (o HP)

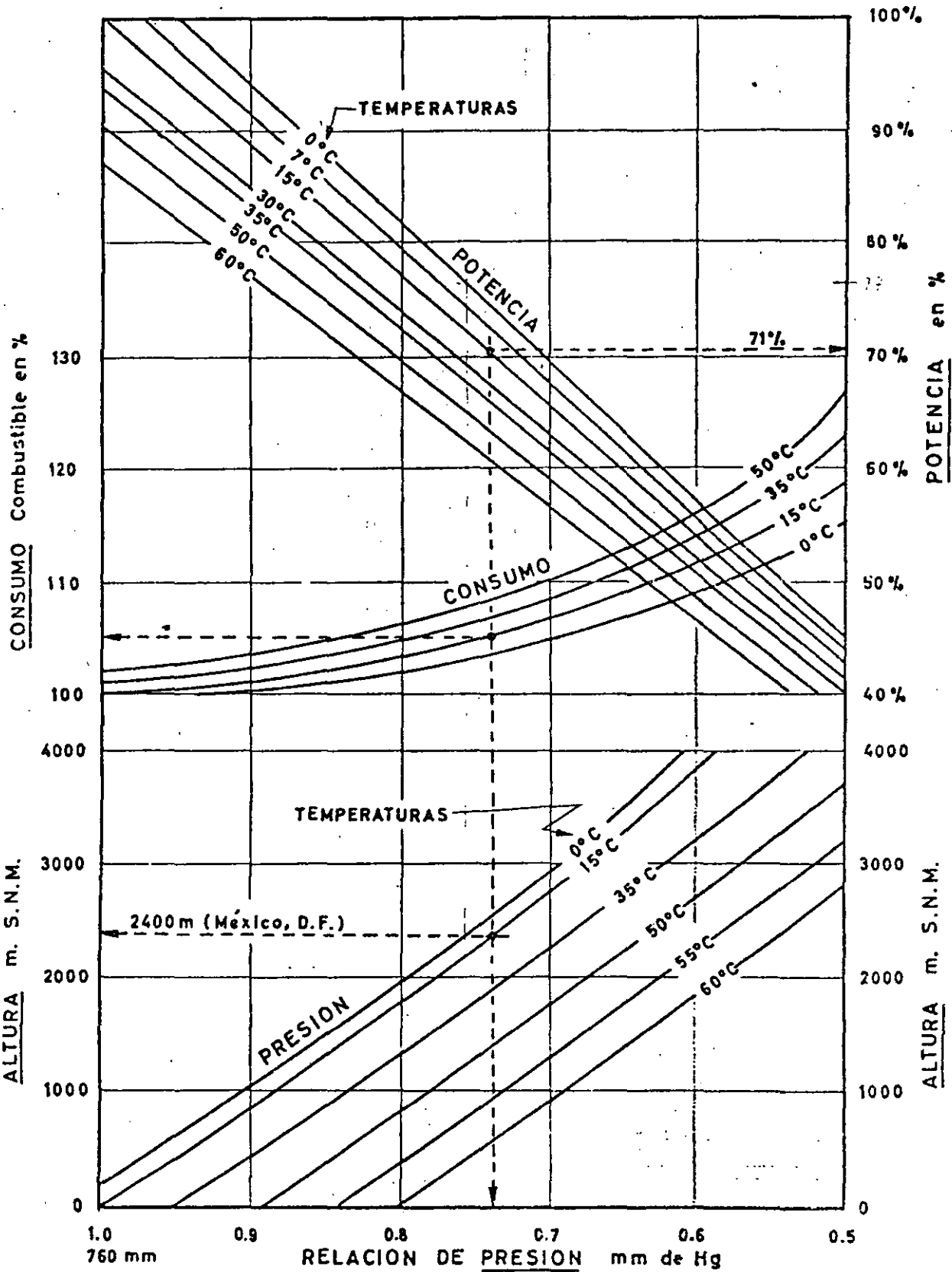
COMPARACION ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE MOTORES  
COMBUSTION INTERNA

		<b>GASOLINA</b>	<b>DIESEL</b>	<b>GAS</b>
<b>V</b> <b>E</b> <b>N</b> <b>T</b> <b>A</b> <b>J</b> <b>A</b> <b>S</b>	1	* SATISFACTORIO EN INSTALACIONES PEQUEÑAS * BAJO COSTO INICIAL	* MAS COSTOSO PERO MAS ROBUSTO Y CONFIABLE	* COSTOS SIMILARES AL MOTOR DE GASOLINA
	2	* ARRANQUE RAPIDO	* MENOR COSTO DE OPERACION * EL MANEJO Y ALMACENAMIENT TO DE SU COMBUSTIBLES ME- NOS PELIGROSO	* ARRANQUE RAPIDO DESPUES DE UN PERIODO DE PARO PRO- LONGADO * MAYOR TIEMPO DE VIDA QUE EL DE GASOLINA
	3	* BAJO COSTO DE PIEZAS DE REPUESTO		* REQUIERE MENOS MANTE- NIMIENTO QUE EL MOTOR DE GASOLINA
	4		* DISPONIBLE EN CAPACI- DADES DE 2.5 A 1000 KVA.	* DISPONIBLE EN CAPACI- DADES HASTA 600 KVA.
<b>D</b> <b>E</b> <b>S</b> <b>V</b> <b>E</b> <b>N</b> <b>T</b> <b>A</b> <b>J</b> <b>A</b> <b>S</b>	1		* ALTO COSTO EN TAMAÑOS PEQUEÑOS	
	2	* ALTO COSTO DE OPERACION * GRANDES PELIGROS ASD- CIADOS CON EL MANEJO U ALMACENAMIENTO DE LA GASOLINA		* LA SELECCION DE ESTE MOTOR DEPENDE DE LA DISPONIBILIDAD DE SU COMBUSTIBLE
	3	* INSPECCION Y MANTE- NIMIENTO FRECUENTES		
	4	* DISPONIBLES SOLO HASTA 150 KVA.		

1. COSTO INICIAL 2. OPERACION 3. MANTENIMIENTO 4. TAMAÑOS DISPONIBLES

# FALTORES DE CORRECCION POR ALTITUD Y TEMPERATURA PARA MOTORES

## FACTORES DE CORRECCION





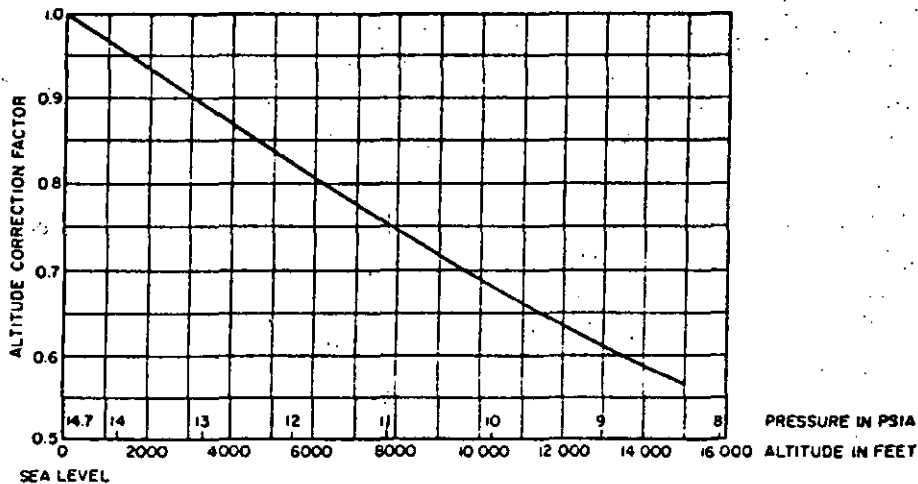
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES  
DIESEL VS TURBINAS DE GAS

1	COMBUSTIBLE	AMBOS PUEDEN QUEMAR EL MISMO COMBUSTIBLE	
2	ARRANQUE	AMBOS TIENEN ALTA CONFIABILIDAD DE ARRANQUE. SIN EMBARGO, EL MOTOR DIESEL ACEPTA CARGA PLENA EN 10 SEG. MIENTRAS QUE LAS TURBINAS NORMALMENTE REQUIEREN DE 30 A 90 SEG.	DIESEL
3	RUIDO	LAS TURBINAS DE GAS SON MAS SILENCIOSAS Y PRODUCEN MENOS VIBRACIONES.	GAS
4	CAPACIDAD	NO SE DISPONEN DE TURBINAS DE GAS MENORES DE 500 KW, MIENTRAS QUE LAS UNIDADES DIESEL EXISTEN DESDE 15 KW EN ADELANTE	DIESEL
5	ENFRIAMIENTO	LOS MOTORES DIESEL EN ALTAS CAPACIDADES NORMALMENTE REQUIEREN DE AGUA PARA SU ENFRIAMIENTO, Y LAS TURBINAS SOLO REQUIEREN DE AIRE PARA SU ENFRIAMIENTO.	GAS
6	INSTALACION	EL TAMAÑO DE LAS TURBINAS DE GAS ES CONSIDERABLEMENTE MENOR, REQUIEREN POCO ENFRIAMIENTO Y PRODUCEN POCAS VIBRACIONES, POR TANTO EL COSTO DE SU INSTALACION ES BAJO.	
7	COSTO	LOS MOTORES DIESEL SON MAS BARATOS, PERO..... EN INVERSION TOTAL LA TURBINA ES COMPETITIVA DEBIDO A SU BAJO COSTO DE INSTALACION.	
8	FUNCIONAMIENTO	LAS TURBINAS DE GAS RESPONDEN RAPIDAMENTE A LOS CAMBIOS BRUSCOS DE CARGA.	GAS

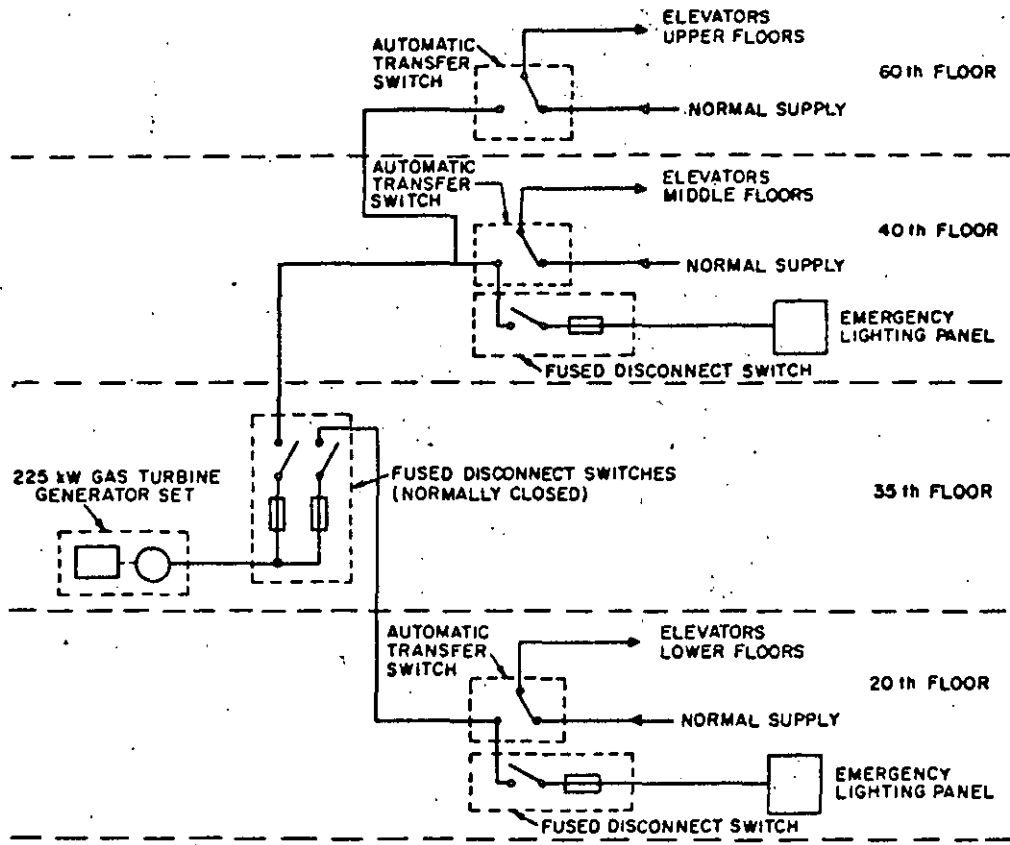
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES  
DIESEL VS TURBINAS DE GAS

9	MANTENIMIENTO	LA TURBINA DE GAS ES MECANICAMENTE MAS SIMPLE QUE LOS MOTORES DIESEL, SIN EMBARGO, EL SERVICIO DE REPARACION Y PIEZAS DE REPOSICION ES MAS COMUN PARA LOS MOTORES DIESEL	DIESEL
10	EFICIENCIA	LOS MOTORES DIESEL SON MAS EFICIENTES QUE LAS TURBINAS, PERO EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS CAMBIOS BRUSCOS DE CARGA ES MUCHO MENOR EN LAS TURBINAS	

TABLA 3.1.2-1 ... (CONTINUACION)



FACTOR DE CORRECCION POR ALTITUD PARA  
TURBINAS DE GAS



ARREGLO TIPICO DE UN SISTEMA DE GENERACION CON TURBINA DE GAS

### 3.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA MECANICA

Los sistemas que se consideran en esta clasificación entregan energía ininterrumpible mediante la conversión de energía cinética (EC) contenida en una masa rotatoria a energía eléctrica:

$$EC = \frac{(WR^2) (\text{rpm})^2}{3.23 \times 10^6}$$

donde W es el peso en libras y R el radio de giro en pies.

Estos Sistemas proporcionan un excelente amortiguamiento entre la fuente que alimenta al primotor y las cargas que no toleran transitorios de voltaje y frecuencia.

Mediante la transferencia a Sistemas de emergencia durante el tiempo en el que se entrega la reserva de energía de estos Sistemas, se puede asegurar un suministro ininterrumpible de energía durante cualquier período de tiempo.

En los siguientes Subincisos se describen tres de los Sistemas que han sido comúnmente utilizados.

#### 3.2.1 Sistema Inercial Simple.

Este Sistema está compuesto de un motor de inducción de bajo deslizamiento, un voltaje o masa de alta inercia y un generador síncrono. La frecuencia de salida del generador a plena carga es de 59.8 Hz. Cuando se interrumpe la alimentación al motor, la energía almacenada en el volante es entregada al generador. La frecuencia de salida del generador se mantiene arriba de 59.5 Hz. en un intervalo de tiempo de hasta 0.5 segundos.

Este sistema tiene relativamente un bajo costo pero provee una mínima protección para cargas que no toleren 59.5 Hz. durante 0.5 segundos.

#### 3.2.2. Sistema Inercial de Frecuencia Constante.

En este Sistema se tiene el mismo equipo del anterior pero además, se tiene un control de frecuencia mediante un Clutch que trabaja con corrientes de Eddy. La frecuencia se mantiene a 60 Hz  $\pm$  0.25 Hz. mediante este control.

La energía a cargas críticas se mantiene hasta 15 segundos después de la interrupción del Suministro de energía al motor. En este tiempo es posible arrancar la fuente de emergencia y transferir la alimentación del motor a esta.

La fuente de emergencia usualmente es un motor de combustión interna acoplado a un generador. Las eficiencias son pobres, usualmente menos de 55 por ciento a plena carga.

### 3.2.3. SISTEMA INERCIAL SOPORTADO POR BATERIAS

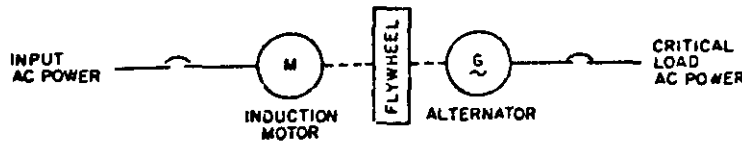
Este Sistema esta constituido por un motor de inducción, un generador de C.D., un banco de baterias, un volante, y un generador de C.A.

En operación normal, el motor de inducción mueve al generador de C.A. para alimentar la carga. En este arreglo se tiene la opción en la que la máquina de C.D., actúa como generador para recargar baterias. En condiciones de falta de suministro de energía, se cierra un contactor de C.D., aplicando voltaje de las baterias a la máquina de C.D., es entonces cuando esta opera como motor para mover el generador. La inercia del volante y de las maquinas rotatorias amortiguan la transición entre la operación normal y la de emergencia.

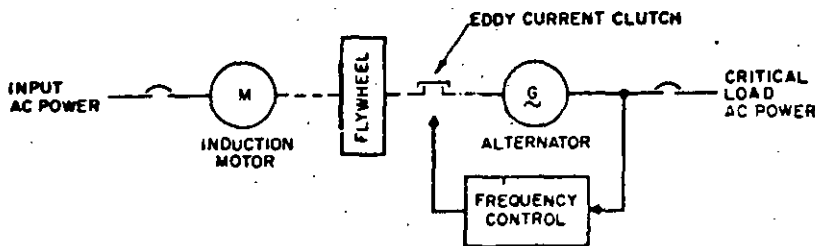
La capacidad de las baterias puede ser seleccionada con base en el tiempo requerido para arrancar y sincronizar un generador de emergencia.

Los diagramas esquematicos asi como una tabla comparativa de los Sistemas anteriores se muestran a continuación.

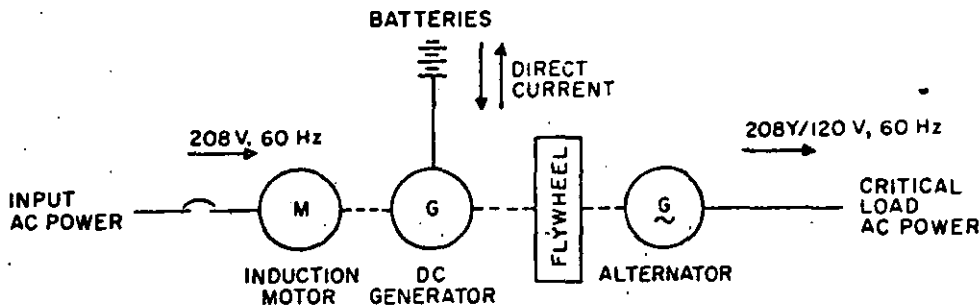
# COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA MECANICA



1 SISTEMA INERCIAL SIMPLE



2 SISTEMA INERCIAL DE FRECUENCIA CONSTANTE



3 SISTEMA INERCIAL SOPORTADO POR BATERIAS

	Motor Generator and Flywheel 1	Motor/Flywheel/Clutch/Generator 2	AC Motor/Flywheel Battery/DC Motor/AC Generator 3
Duration of emergency source	Up to 0.5 s	Up to 15 s	For length of battery supply purchased
Voltage regulation	208Y/120V ac $\pm$ 1%	208Y/120V ac $\pm$ 1%	208 Y/120 V ac $\pm$ 2%
Voltage drop or rise for 33 percent load step change from full load	$\pm$ 8%	$\pm$ 8%	$\pm$ 10% (50% step)
Voltage transient	0.5 s	0.5 s	—
Frequency regulation	60 Hz + 0, -0.5	60 Hz $\pm$ 0.5	59.7 Hz ac drive/60 Hz $\pm$ 0.5 Hz dc drive
Frequency transient	$\pm$ 0.5 Hz	$\pm$ 0.5 Hz	—
Frequency transient recovery time	0.5 s	0.5 s	—
Phase angles, unbalanced loads up to 20 percent	120° $\pm$ 5°	120° + 5°	—
Harmonic voltage	5% rms maximum	5% rms maximum	3% rms maximum
Electromagnetic interference	MIL-1-16910 or better	MIL-1-16910 or better	—

### 3.3.- SISTEMAS DE BATERIAS. 29

La batería es la fuente más confiable para situaciones de emergencia o respaldo y aplicada con otros equipos puede aún configurarse un sistema superior. Las baterías se instalan mediante conexiones en serie de celdas individuales para alcanzar los voltajes requeridos.

Existen básicamente dos tipos de baterías: las baterías de ácido-plomo y las de níquel cadmio (alcalinas). Las ácidas son --- más económicas que las alcalinas en su costo inicial, sin embargo--- este ahorro de capital puede ser compensado en las alcalinas debido a que tienen mayor vida, son de construcción más robusta y requieren menos mantenimiento, sin embargo, esto puede ser rebatido por la necesidad de ocupar más celdas alcalinas con 1.2 v/celda contra 2v/celda de las ácidas. Ver Tabla 3.2.2.

El número de celdas en una batería de un sistema específico es función del voltaje disponible para cargar la batería y del nivel requerido en el voltaje al final del período de descarga. Estos parámetros se ilustran en la tabla 3.2.1 siguiente.

Tabla 3.2.1.- Número de Celdas para Diversos Voltajes.

Voltaje nominal.....	120	48	24	12
Número de celdas (ácidas) .....	60	24	12	6
Número de celdas (alcalinas).....	92	37	19	10
Voltaje de recarga...	143	58	30	15.5
Voltaje de flotación.	129	51	26	13
Voltaje final.....	105	42	21	10.5

Ciclo de recarga/igualación/descarga.- En las baterías ácidas, aún sin descargarlas externamente el voltaje de las celdas tiende a bajar al mínimo en aproximadamente 60 a 90 días. Este bajo voltaje de celdas hace necesario un incremento del 10% al voltaje nominal durante 25 o 30 horas. Las baterías alcalinas tienen menos descargas "propias", ya que si no son descargadas por circuitos externos, mantienen 1.2 v/celda por muchos meses. Ambos tipos de baterías necesitan aproximadamente el 110 % de su voltaje nominal para poder llegar al estado de carga completa.

Para dimensionar apropiadamente cualquier batería su ciclo de trabajo debe contemplarse en base a:

- (1) La cantidad de amperes-hora que entrega.
- (2) El tiempo que se requiere para la descarga, esto es, el tiempo que durará conectada en condición de emergencia.

# TIPOS DE BATERIAS.

30

	ACIDO PLOMO (ACIDAS)		NIQUEL - CADMIO (ALCALINAS)
	PLOMO/CALCIO	PLOMO/ANTIMONIO	
COMPONENTES PLACA POSITIVO PLACA NEGATIVO ELECTROLITO	PLOMO-CALCIO PLOMO ACIDO SULFURICO	PLOMO ANTIMONIO PLOMO ACIDO SULFURICO	NIQUEL CADMIO HIDROXIDO DE POTASIO EN AGUA
OPERACION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- POBRE A ALTAS TEMPERATURAS</li> <li>- ALTAS DESCARGAS PROPIAS</li> <li>- POCO CONFIABLE EN OPERACIONES CICLICAS</li> <li>- POBRE EN DESCARGAS RAPIDAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BUENA PARA OPERACIONES CICLICAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SATISFACTORIA A CUALQUIER TEMPERATURA</li> <li>- SIN DESCARGAS PROPIAS</li> <li>- LA MEJOR EN OPERACIONES CICLICAS</li> <li>- BUENO EN DESCARGAS RAPIDAS</li> </ul>
COSTO	BAJO	MEDIANO	ALTO
VIDA UTIL	12-15 AÑOS	10-12 AÑOS	MAJOR TIEMPO DE VIDA UTIL 20 A 23 AÑOS
VOLTAJE NOMINAL P/UN SISTEMA DE 120V	2 V / CELDA * 60 CELDAS	2 V / CELDA * 60 CELDAS	1.2 V / CELDA * 92 CELDAS
VOLTAJE DE RECARGA * PARA UN SISTEMA DE 120V.	120 % DEL VOLTAJE NOMINAL * 143 V		
VOLTAJE DE FLOTACION * PARA UN SISTEMA DE 120V	107.5 % DEL VOLTAJE NOMINAL * 129 V		
VOLTAJE FINAL * PARA UN SISTEMA DE 120V	87.5 % DEL VOLTAJE NOMINAL * 105 V		

TABLA 3.2.2.



- (3) El voltaje final del ciclo de descarga.
- (4) La temperatura de operación.
- (5) La secuencia de conexión de cargas.

Las dimensiones de la batería, en cuanto a capacidad se refiere, deberá ser la adecuada para soportar la carga crítica hasta que pueda ser retirada o desconectada ordenadamente o bien hasta que la energía retorne o una fuente de respaldo pueda ser arrancada y conectada.

Su aplicación se ha extendido mucho en sistemas de comunicación, alumbrados de emergencia, arranque y alarmas de sistemas contra incendio, maniobras de operación en interruptores de potencia en su bestaciones eléctricas y arranque de los motores de plantas de emergencia.

El desarrollo tecnológico que la electrónica ha tenido en los últimos años, permite disponer en la actualidad de equipos de suministro de energía eléctrica en base a componentes de estado sólido (transistores, circuitos integrados, tiristores de potencia, etc), - En México ya tienen aplicación en sistemas de emergencia y en muchos casos como suministro de energía continua. Su utilización se ha generalizado en sistemas de cómputo, comunicaciones, funciones de control que sean críticas y apoyo en sistemas de soporte de la vida en hospitales.

3.4.1.- DESCRIPCION BASICA DE SUS COMPONENTES.- El sistema no interrumpible se ilustra en el diagrama unifilar de la Fig. 3.4.1 y consiste básicamente de:

1.- Rectificador.- Convierte la corriente alterna proveniente de la línea en energía de corriente directa para mantener la alimentación de plena carga del inversor(3) y la corriente de flotación de la batería (4).

2.- Barras Colectoras de Corriente Directa.- Interconectan las terminales de suministro de corriente directa del rectificador (1) a la batería (4) así como la alimentación del inversor(3).

3.- Inversor.- Convierte la energía de corriente directa proveniente del rectificador o de la batería en energía de corriente alterna mediante el empleo de puentes inversores electrónicos a base de tiristores de potencia y filtros capacitivo-inductivos.

4.- Batería.- Proporciona energía de corriente directa al inversor durante los tiempos de falla del suministro principal de la línea de alimentación, o bien, si fuera el caso, durante las fallas que se presenten en el rectificador(1).

5.- Interruptor estático.- Bajo condiciones de falla en el inversor(3), transfiere la energía eléctrica del UPS a la línea de alimentación con la que está permanentemente sincronizada. El tiempo que emplea es prácticamente instantáneo ( 5 a 10 mseg.); con lo cual no se ve afectada la operación del equipo crítico de la carga.

6.- Interruptor de "bypass".- Cierra en forma automática después de que la carga crítica ha sido transferida del sistema no interrumpible a la línea por el interruptor estático, sustituyendo a este último de manera permanente.

### 3.4.2.-FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO NO INTERRUMPIBLE.

Operación Normal.- Durante la operación del equipo no interrumpible, la corriente alterna proveniente de la línea alimenta el rectificador para convertirla en corriente directa; esta es enviada al inversor electrónico el cual mediante el empleo de tiristores y filtros capacitivo-inductivos; convierte la energía de corriente directa en energía de corriente alterna que es proporcionada a la carga crítica. Una pequeña parte de la energía es utilizada para mantener en flotación la batería. Bajo esta condición de operación, el equipo no interrumpible actúa como un excelente regulador de energía de corriente alterna, amortiguando considerablemente las sobretensiones producidas en la línea de suministro por las maniobras de apertura y cierre de interruptores ("switches"); así como transitorios de rayos en líneas de alta tensión que puedan afectar el voltaje secundario de los transformadores de alimentación principal. (ver Fig. 3.4.2 ).

Operación con Baterías.- La Fig. 3.4.3 ilustra la condición de falla de alimentación de C.A. en la línea. Cuando esto ocurre, el rectificador entra en una condición de apagado y por lo tanto se desconecta. La batería proporciona entonces la energía que requiere el inversor para seguir alimentando la carga crítica, quedando el control de frecuencia a cargo de un oscilador local a base de cristal, perdiéndose así la función de sincronismo con la línea en virtud de no tener potencial en la alimentación. Cabe mencionar que en ningún momento se pierde el flujo de energía hacia la carga debido a que la batería está permanentemente conectada a las barras colectoras de corriente directa.

El tiempo de alimentación de energía que regularmente se prevee para la batería, es del orden de 15 minutos, aunque si se requiere, puede hacerse el diseño para que soporte tiempos mayores; pero esto implica por supuesto mayor costo. Existen alarmas de bajo voltaje cuando la energía de la batería está siendo cedida a la carga y de continuarse la demanda, entonces se efectúa un disparo automático del sistema, por esta razón, entre otras, es necesario estimar el tiempo requerido para salvaguardar los sistemas de la carga crítica conectada al equipo no interrumpible.

Operación de Recarga de Baterías.- Si antes de que se presente el disparo del sistema por bajo voltaje en la batería se restituye la alimentación de C.A.; el rectificador se conecta automáticamente y proporciona una corriente para mantener la operación del inversor y otra para restituir la energía cedida por la batería durante el tiempo que duró la falla en la línea. El rectificador es diseñado para soportar la corriente total que demandan el inversor y la batería. (ver Fig. 3.4.4).

Operación de Transferencia a la Línea.- El equipo no interrumpible puede ser transferido a la fuente de alimentación cuando ocurre una sobrecarga del inversor o bien cuando exista falla en el mismo. Bajo cualquiera de estas dos condiciones se genera una señal de comando sobre el interruptor de salida del inversor, sobre el interruptor estático y sobre el interruptor de "bypass". Estos tres elementos tienen tiempos de operación diferentes y ocurren en tres-- diferentes pasos que se ilustran en la Fig. 3.4.5 a, b y c.

El más rápido de estos elementos es el interruptor estático que consiste en 3 interruptores de estado sólido (tiristores), uno por cada fase. La conducción se inicia aproximadamente  $1/4$  de ciclo después de haber recibido la señal de disparo en las compuertas de los tiristores, quedando así conectada la carga, tanto al equipo no interrumpible como a la línea.

Aproximadamente 2 ó 3 ciclos después se abre el interruptor de salida del inversor y la carga es ahora soportada por la línea a través del interruptor estático.

El paso final de la secuencia de transferencia se efectúa aproximadamente entre los 8 y 10 ciclos, cuando el interruptor de "bypass" cierra y "puentea" la corriente que circulaba a través del interruptor estático.

La secuencia descrita anteriormente es comúnmente conocida como "make-before-break", cuya interpretación en este caso sería la de "conectar-antes de-desconectar", refiriéndonos a conectar la línea antes de desconectar el equipo no interrumpible, haciéndose la transferencia sin ocasionar trastornos a la carga crítica.

Transferencia de la Línea al Equipo no Interrumpible.--- (referido a la Fig. 3.4.6). Para transferir la carga de la línea de alimentación al equipo no interrumpible, se cierra el interruptor de salida del inversor quedando así conectado la carga a través del -- interruptor de "bypass" en paralelo. Cuando el equipo no interrumpible soporta la mayor parte de la carga se abre el interruptor de -- "bypass" separándose así la línea. El tiempo que dura esta transferencia es de aproximadamente  $1/2$  segundo y aquí también se establece una vez más el modo de operación "make-before-break".

3.4 SISTEMAS ININTERRUMPIBLES

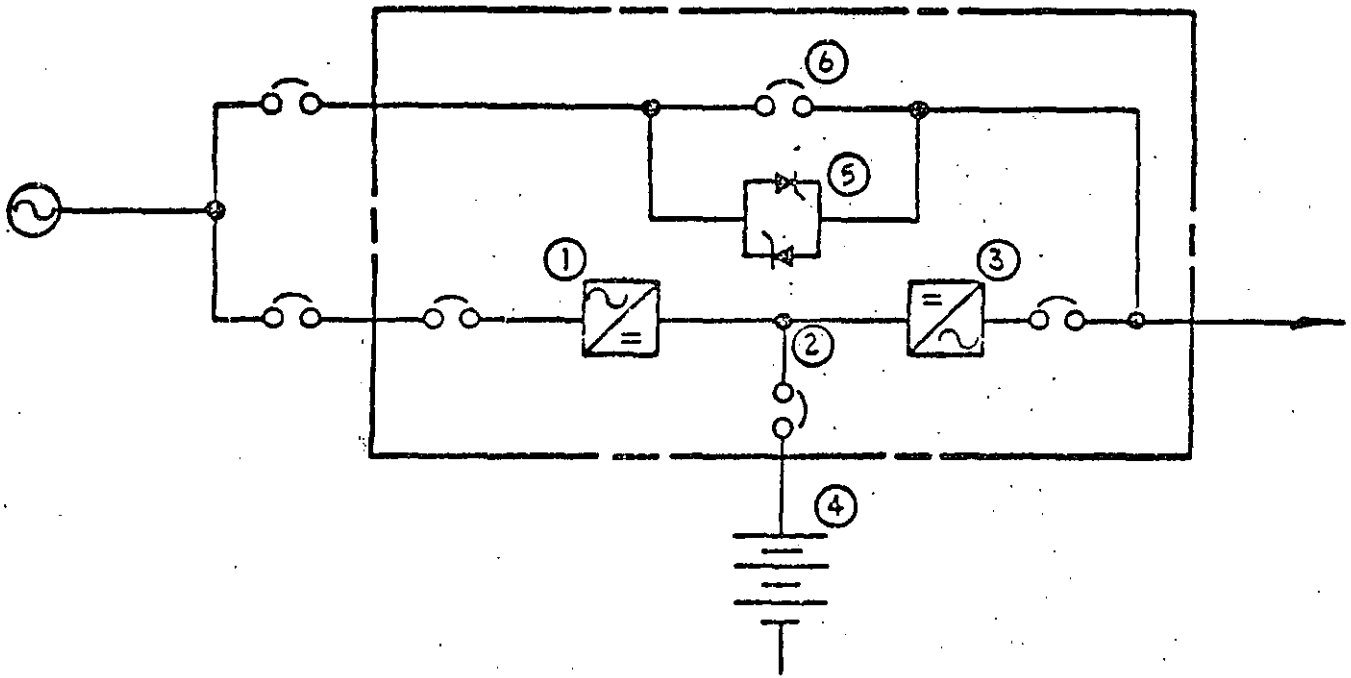


FIGURA 3.4.1

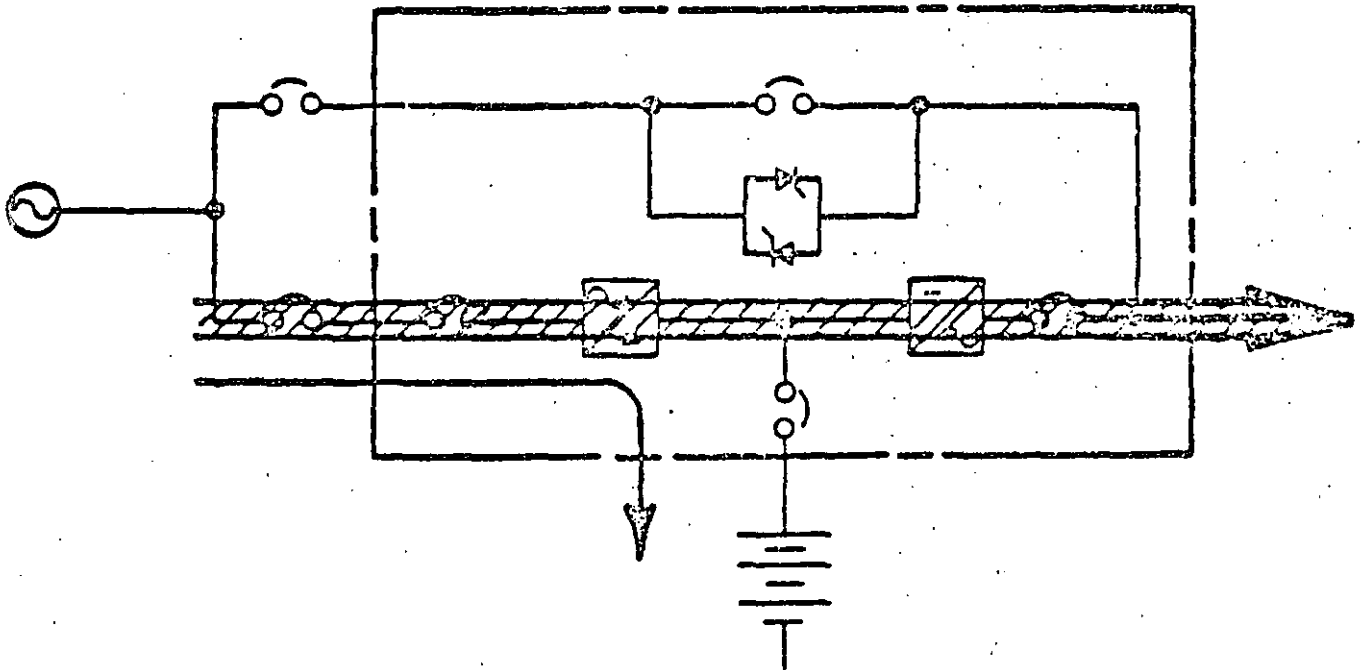


FIGURA 3.4.2

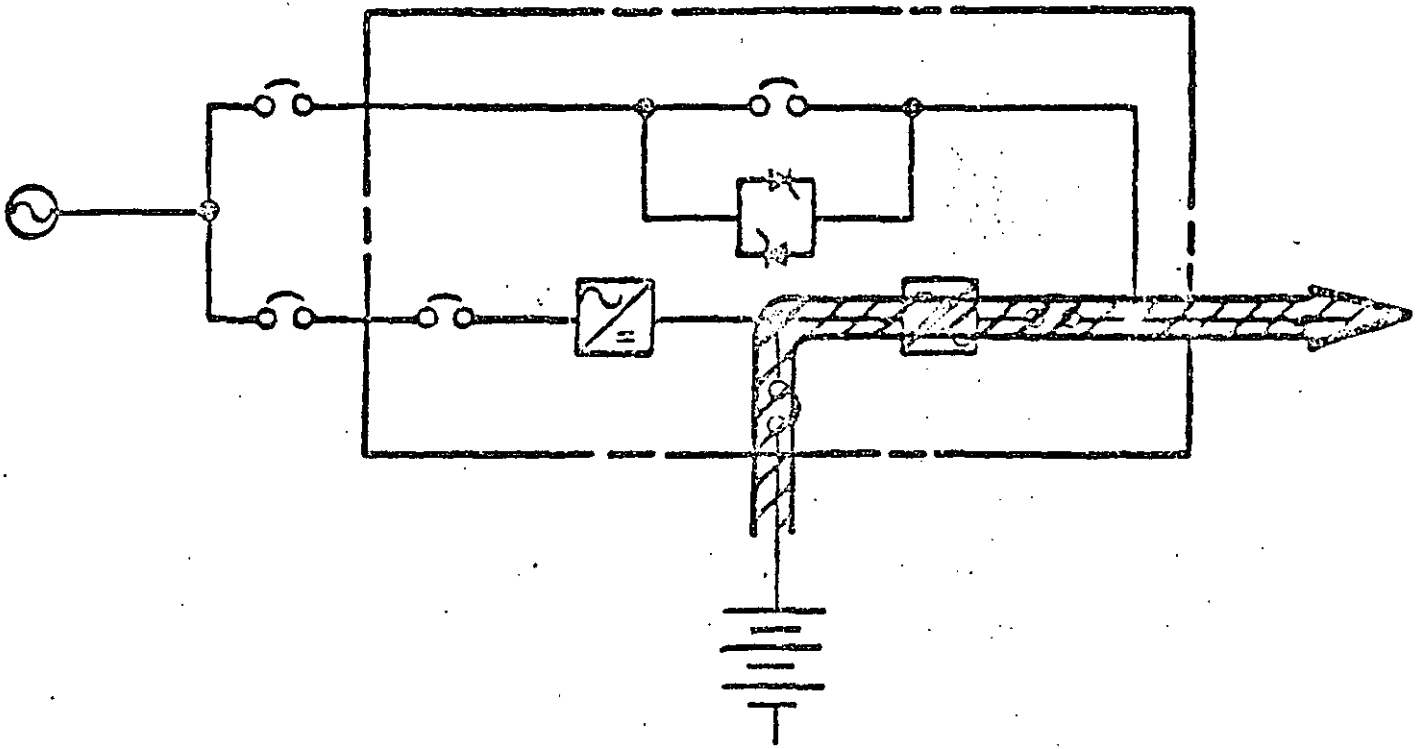


FIGURA 3.4.3.

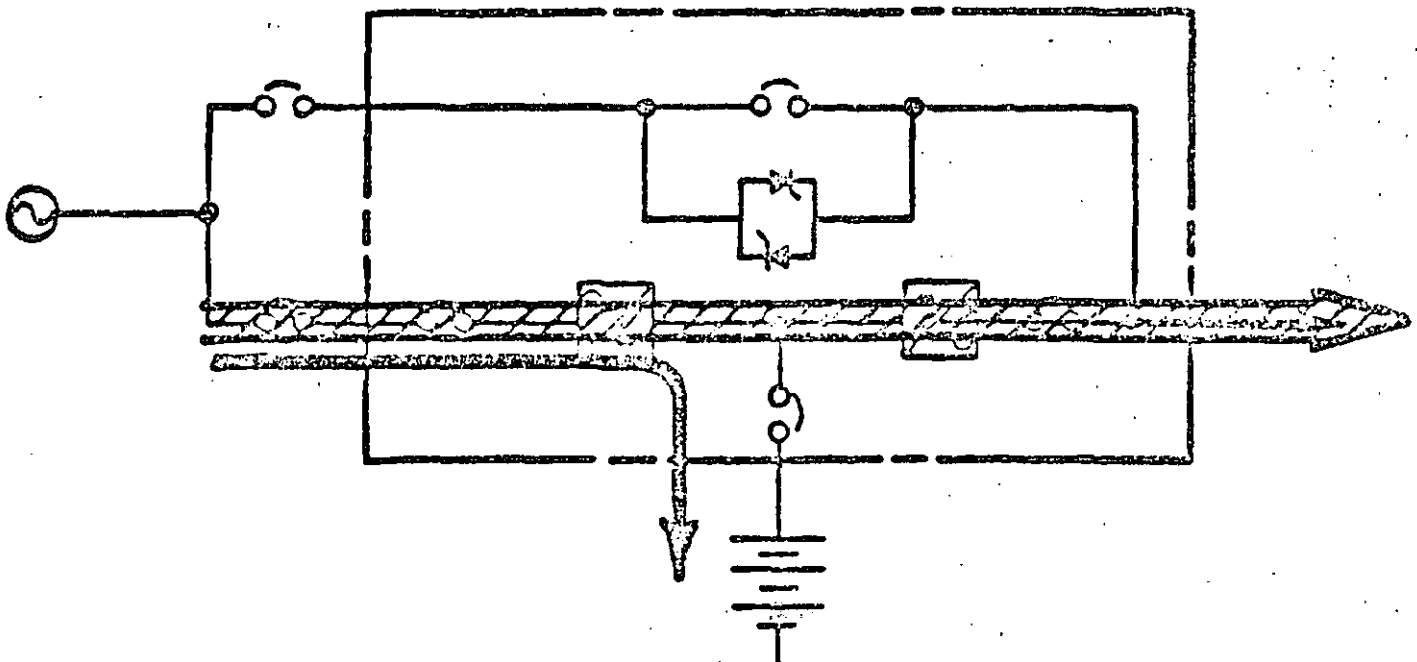


FIGURA 3.4.4

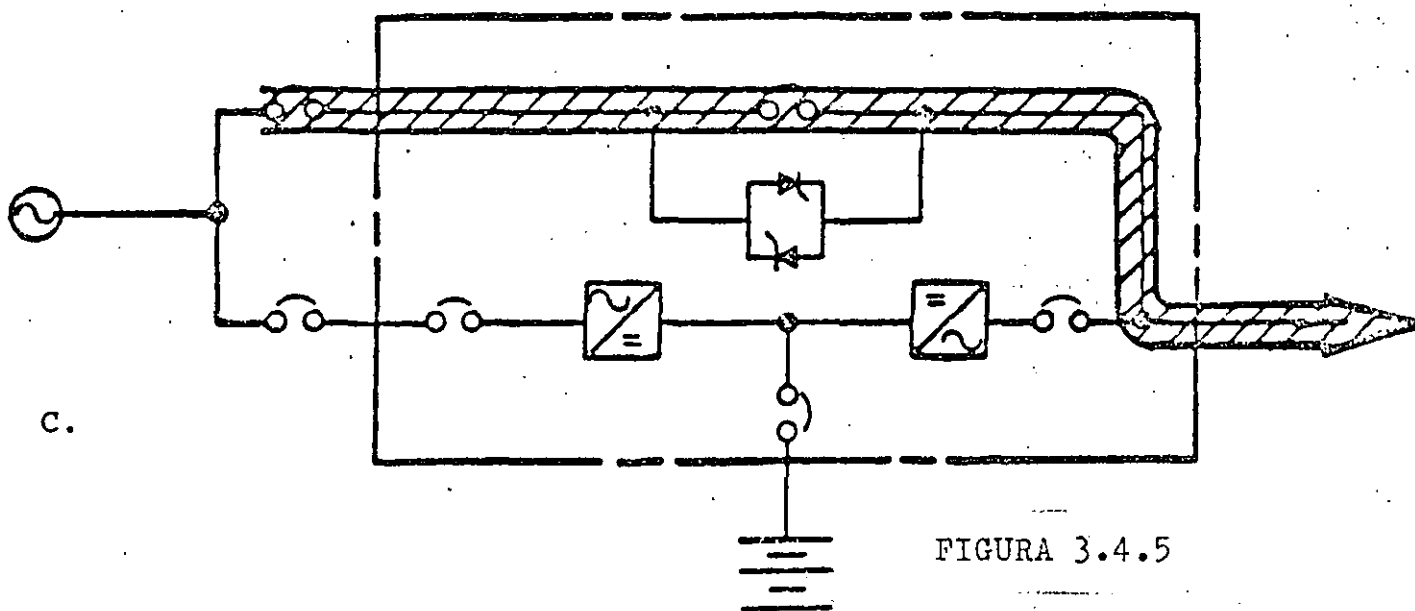
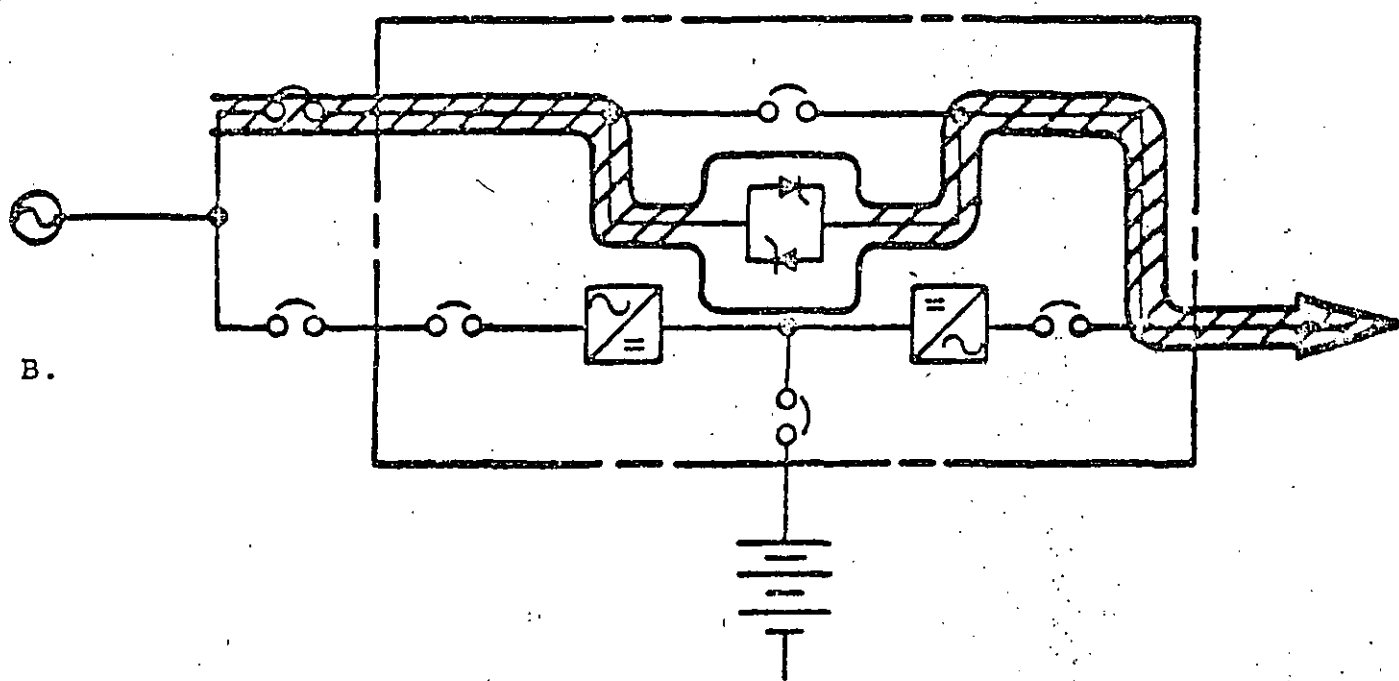
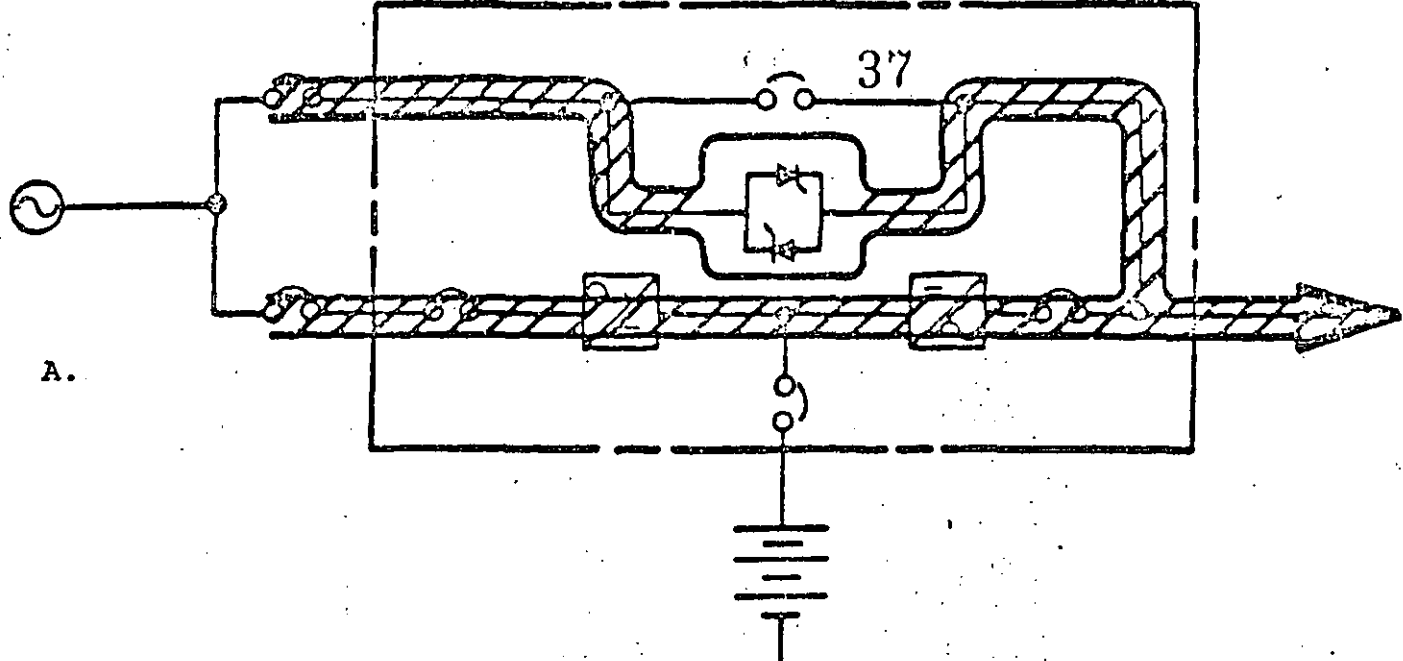


FIGURA 3.4.5

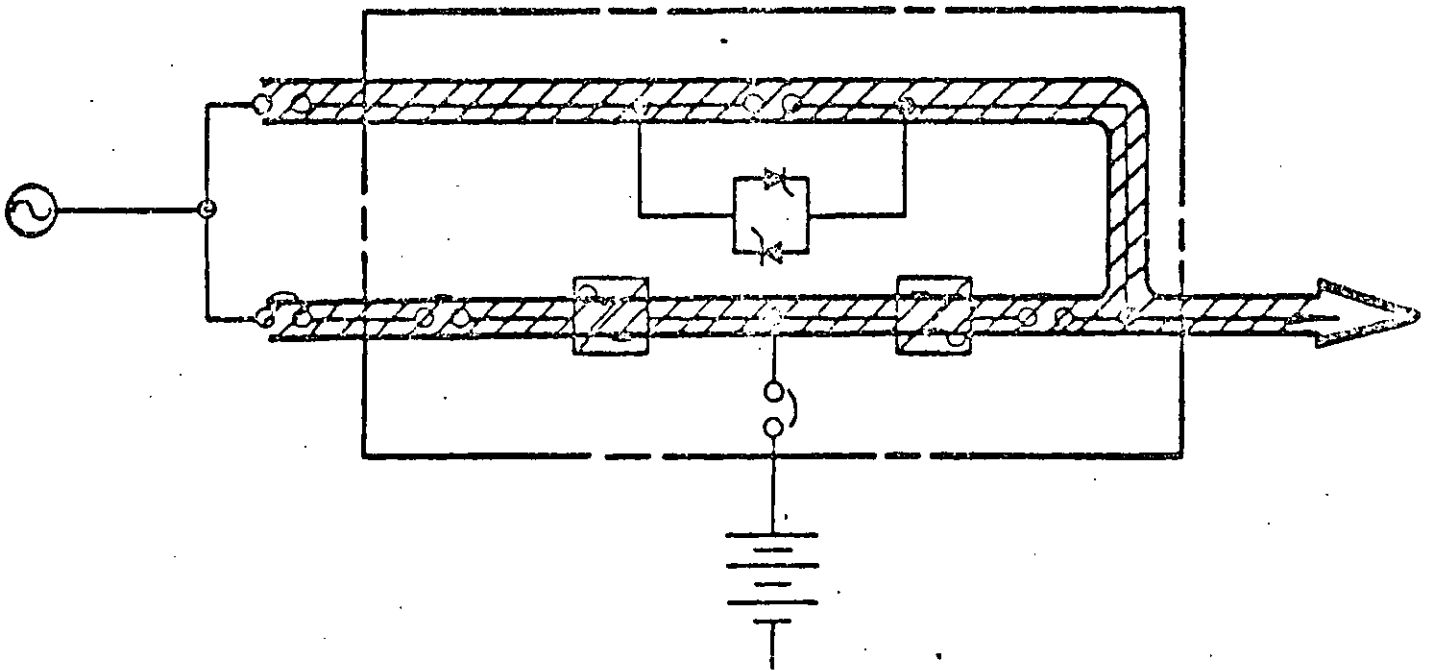


FIGURA 3.4.6

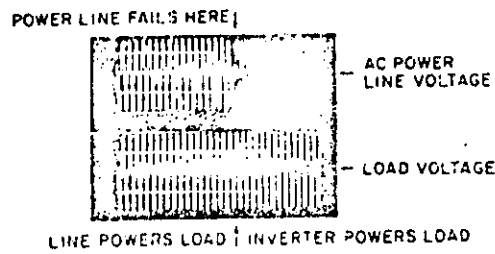
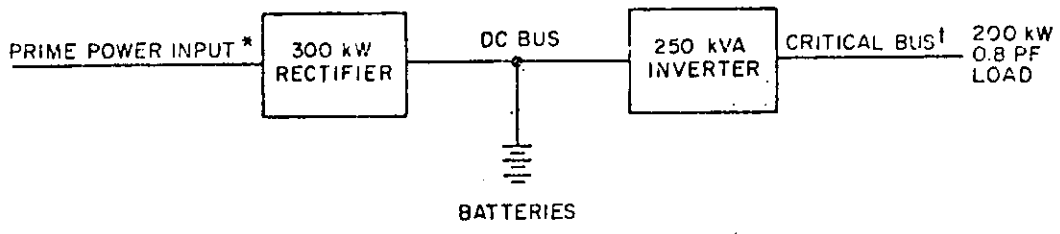


FIG. 3.4.7.- SISTEMA NO REDUNDANTE.



### 3.4.3.- CONFIGURACIONES TÍPICAS DE EQUIPOS NO INTERRUMPIBLES

Existen diferentes y variadas configuraciones de -- equipos no interrumpibles; los que a continuación se explican son algunos de los más usuales. Es importante mencionar que la aplicación de ellos dependerá fundamentalmente de la s condiciones técnico-economicas que en cada caso prevailecan.

Sistema No Redundante.- La configuración básica consiste en un solo rectificador, una batería y un inversor operando - continúamente en la línea de alimentación de C.A. Se fabrican en potencias que van desde los 250 VA hasta 500 KVA. El diagrama unifi-- lar se ilustra en la Fig. 3.4.7. El sistema rectifica la C.A. y se alimenta al inversor manteniendo en flotación la batería. No se --- cuenta con opción de transferencia de ningún tipo y solo se depende del tiempo que duren las baterías para alimentar la carga crítica durante fallas de la línea. En caso de ser breves las fallas ( generalmente menor a 15 min. ) el redtificador restituye la carga de las-- baterías.

El sistema proporciona además:

- (1) Energía eléctrica ininterrumpible.
- (2) Bajo mantenimiento debido a no existir partes en movimiento.
- (3) Buena eficiencia en la conversión de energía mediante el empleo de componentes de estado sólido.

La disponibilidad del equipo del sistema para el servicio normal es generalmente alta y puede ser calculada mediante el - uso de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{TPF}{TPF + TPR}$$

Donde:

A= Disponibilidad del equipo

TPF= Tiempo promedio entre fallas(horas o días)

TPR= Tiempo promedio de reparación(horas o días).

El sistema tiene la ventaja de ser muy simple y de bajo costo y como desventaja; el quedar totalmente fuera cuando su--- inversor falla. Su selección dependerá fundamentalmente del aspec-- to económico y del tiempo permitido para permanecer con la carga -- crítica fuera de servicio en caso de falla.

Este último inconveniente se supera si se incluye un interruptor estático para efectuar la transferencia de carga a la - línea; realizándose de acuerdo al esquema que se explicó en el in--

ciso 3.4.2 anterior; aclarando que, de seleccionarse este arreglo, se deberá estar seguro que la fuente de alimentación tenga características de muy buena estabilidad en voltaje y tensión con el fin de poder efectuar una transferencia satisfactoria. La inclusión del interruptor estático incrementa el costo aproximadamente en un 10.5% respecto al sistema no redundante.

Sistema Redundante.- La figura 3.4.8 muestra un sistema con dos unidades no interrumpibles operando en paralelo redundante. Cada una de las unidades deberá ser seleccionada a la capacidad total de la carga crítica con el fin de que en caso de falla de uno de ellos, el otro pueda sustituirlo sin afectación al equipo conectado en la salida del sistema. Es posible agregar más unidades pero siempre conservando el criterio de que cuando falle uno de ellos el resto pueda tomar la carga total. Usualmente se duplican los circuitos del rectificador, inversor, control de frecuencia e interruptores de salida, no siendo necesario hacer lo mismo con las baterías; sin embargo, el arreglo permite tener una mayor disponibilidad del sistema y obviamente mejores condiciones de operación respecto al no redundante.

La redundancia del sistema consiste básicamente en tener el menor número de equipos en paralelo para soportar los requerimientos de la carga crítica más uno adicional para tener la redundancia. Un número grande de equipos en paralelo no necesariamente incrementan la disponibilidad del sistema debido a que se tiene un mayor número de componentes sujetas a falla.

El costo de un sistema redundante es aproximadamente:

$$S = (N+1)/N$$

Como puede apreciarse es mayor que en un sistema no redundante, donde N es igual al número de equipos correspondientes al sistema no redundante.

Sistema Paralelo-Redundante de Carga Compartida.- La figura 3.4.9 muestra un sistema paralelo redundante de equipos no interrumpibles. La confiabilidad del arreglo mostrado es verdaderamente monstruosa y generalmente se utiliza para sistemas con una gran demanda de energía en la carga, misma que no puede ser suspendida durante las 24 horas, como ejemplo podría citarse el Sistema Bancario que requiere atención continua al público, como es el caso de los llamados cajeros automáticos que operan inclusive los sábados y domingos. La característica de carga compartida se aplica tanto a la alimentación de la línea con la planta de emergencia de combustión interna como en los rectificadores e inversores de los equipos ininterrumpibles. Es muy recomendable cuando el arreglo con interruptor estático de transferencia a la línea no puede aplicarse, de-

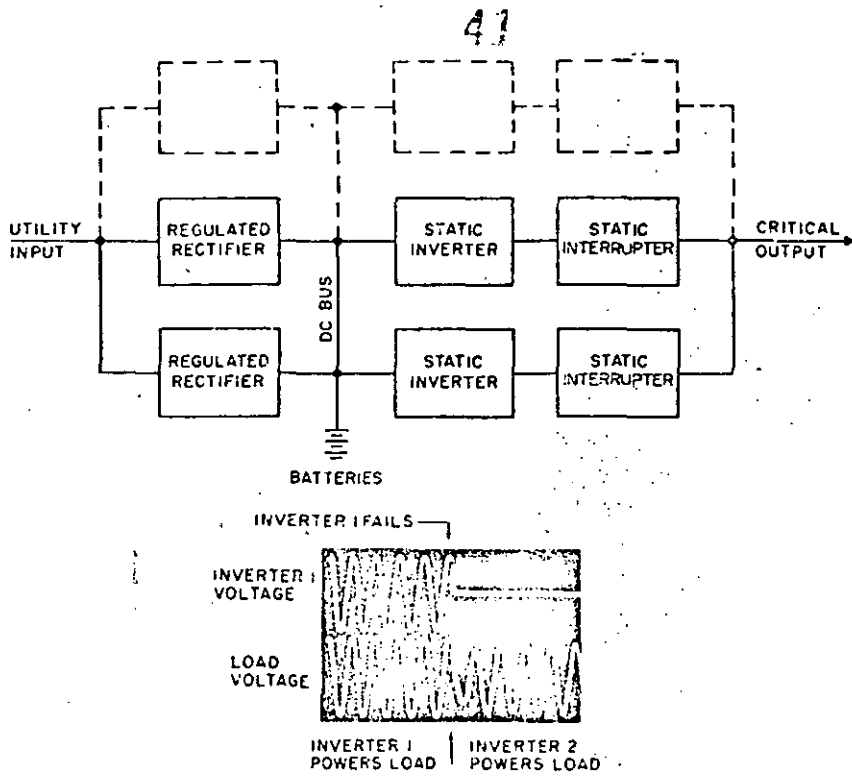


FIG. 3.4.8.- SISTEMA REDUNDANTE.

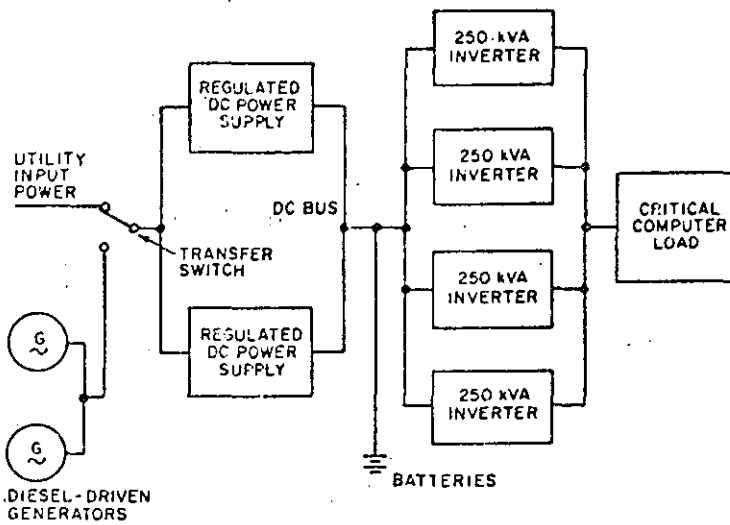


FIG. 3.4.9.- SISTEMA PARALELO-REDUNDANTE DE CARGA COMPARTIDA.

bido a que los parámetros de frecuencia y voltaje en la línea son inestables.

#### 3.4.4.- ESPECIFICACION DE UN EQUIPO NO INTERRUMPIBLE.

La tabla 3.4.1 es una guía para especificar un equipo no interrumpible y fué tomada como referencia del "Orange Book" (Recomendaciones para Sistemas de Emergencia y Respaldo en Aplicaciones Industriales y Comerciales (IEEE); Se proporciona en el idioma original (ingles) para evitar confusiones en la traducción. Es conveniente insistir que sirve como guía y en cada caso será necesario considerar las necesidades específicas del problema que se esté analizando.

TABLA 3.4.1.- ESPECIFICACION DE UN EQUIPO NO  
INTERRUMPIBLE.

<b>Input (Rectifier/Charger)</b>	
Voltage	208 V or 480 V, $\pm 10\%$ , 3 phase
Power factor	Minimum 0.8 at rated load
Frequency	50 or 60 Hz, $\pm 5\%$
Harmonic content of current	10% (5% preferred)
Startup current limiting	Maximum 25% of full load current (energizing rectifier transformer with inverter at no load)
Startup "walk in"	15 to 30 s to full load
Steady-state current limiting	Adjustable, with two standard settings: 1) For utility power, 125% rated load 2) For emergency power, 100% rated load plus 5 kVA
<b>Output (Inverter)</b>	
Voltage	208 V or 480 V, 3 phase, 3 or 4 wire
Regulation	1) $\pm 2\%$ for balanced load 2) $\pm 3\%$ for 20% unbalanced load (100%, 80%, 80% or 100%, 100%, 80%)
Line drop compensation	0 to 5%, adjustable
Transient response	1) $\pm 5\%$ for loss or return of ac input power 2) $\pm 8\%$ for 50% load step 3) $\pm 10\%$ for bypass or return from bypass
Transient recovery	Return to steady-state conditions within 100 ms after a disturbance
Harmonic content of voltage	4% total, 3% any single harmonic
Phase displacement	1) $120^\circ \pm 1^\circ$ for balanced load 2) $120^\circ \pm 3^\circ$ for 20% unbalanced load
Frequency	50 or 60 Hz
Regulation	$\pm 0.1$ Hz
Line sync range	$\pm 0.5$ to 1.0 Hz, adjustable
Slew rate	Maximum 1 Hz/s
Current capability	
Overload	125% for 10 m and 150% for 10 s
Fault clearing	150% to 300% for 10 cycles, maximum limited for self-protection
<b>DC Link (Battery)</b>	
Battery type	Lead acid or nickel cadmium (NICAD)
Float voltage	Lead acid 2.2-2.25 V/cell NICAD 1.4-1.42 V/cell
Equalize voltage	Lead acid 2.35 V/cell NICAD 1.6 V/cell
End voltage	Lead acid, minimum 1.6 V/cell NICAD minimum 1.1 V/cell (setting also determined by inverter input voltage window)
Recharge time	10 times discharge time
Energy storage capacity	Sized to requirement (normally 15 min)
<b>General Characteristics and Requirements</b>	
3 $\phi$ Output ratings	32.5 to 600 kVA at 0.8 power factor
Efficiency	77% to 90% (improves as kVA rating increases)

TABLE 3.4.1.-- (CONTINUACION).

Dimensions and weight	Depends on kVA rating
Controls	Startup, emergency shutdown, synchronous transfer to bypass and all adjustment functions required for operation and maintenance
Meters	AC volt and ammeters with phase selector switches for both input and output, DC voltmeter and charge/discharge ammeter
Alarms	Indicating 10 to 20 special conditions or malfunctions such as output over- and undervoltage, battery discharge, fan failure, auto bypass, etc
Environmental	
Ambient temperature	Within 0° to 40°C operating and -20° to 70°C nonoperating
Relative humidity	0 to 95% at any operating temperature
Reliability	MTBF 200 000 h minimum (includes available utility power via bypass)
Maintainability	MTTR 40 min maximum (when parts are on site)
Available Options	
Frequency conversion	50 to 60 Hz or 60 to 50 Hz (only for redundant type UPS without bypass)
Expandability	Can be paralleled with like UPS modules
Electromagnetic interference suppression	Suppression of radiated on all sides and conducted on input, output, and control cables
Acoustical noise suppression	Maximum 76 dB at 5 ft from surface
Extended operating temperature capability	From 40°C to 50°C
Automatic battery equalizing charge	Activated and timed after each battery discharge
Circuit breaker motor operators	For input, output, and battery circuit breakers
Mimic bus	An illuminated one-line diagram indicating operational status
Remote status monitoring and alarm panel	Monitors special conditions and malfunctions up to 500 ft away
Additional meters	Input and output wattmeters, elapsed time and frequency meters rectifier output dc ammeter
Special conditions to be identified by user	<p>Damaging fumes  Excessive moisture  Excessive dust  Abrasive dust  Steam  Oil vapor  Explosive mixtures of dust or gases  Salt air  Abnormal vibration, shocks, or tilting  Weather or dripping water  Special transportation or storage conditions (user to identify method of handling equipment)  Extreme or sudden changes in temperature  Unusual space and weight limitations  Unusual operating duty  Unusually high system impedance  Seismic considerations  Electromagnetic fields  Radioactive levels above natural background  Abnormally high system voltages to ground  Nonlinear load or one generating excessive harmonic or ripple current  Inability for the dc source to accept a current in the reverse direction  Acoustical noise limitations  Type of battery or power supply provided by user</p>

4.1.- Protección contra Sobrecorrientes en los Sistemas,-

En la protección del equipo contra sobrecorrientes se debe determinar la magnitud de las corrientes de falla en los sistemas de emergencia, de respaldo y suministro normal, así como en los equipos de transferencia e interrupción. Por lo regular los sistemas de emergencia y respaldo no tienen corrientes de falla tan altas como las del suministro normal, de tal suerte que la corriente que determina la capacidad interruptiva de los equipos es la de corto circuito disponible en el sistema de suministro normal. La evaluación de las corrientes de falla de los generadores de emergencia y respaldo, servirá -- para asegurarnos de que sea la suficiente para operar el equipo de protección de los equipos derivados que se encuentran coordinados -- con el equipo de sobrecarga de la alimentación normal. Las corrientes subtransitorias y la velocidad de amortiguación de la corriente de falla pueden ser muy importantes en estos casos, ya que ellas determinan la clase (o bonidad) de coordinación que es necesaria entre -- los equipos que se utilizan para obtener la coordinación y selectividad apropiadas.

En el estudio de protección y coordinación que se haga, es necesario obtener las características de cort-circuito específicas del generador, directamente del fabricante; así como las curvas -- tiempo corriente de los fusibles, interruptores y relevadores a utilizar.

4.2.- Equipo de Transferencia.- Se debe dar mayor atención a los interruptores de transferencia debido a que la capacidad de -- corriente de falla y normal de diseño de los interruptores, es una parte muy importante en la aplicación de proyectos de protección, -- en virtud de que deben ser capaces de cerrar con altas corrientes -- de "inrush" , soportar corrientes de falla sin daño de sus contac -- tos y ser apto para severos ciclos de trabajo con corrientes de ple -- na carga.

En la aplicación de la protección es necesario consultar a -- los fabricantes sobre los métodos de prueba aplicados a los inte -- rruptores de transferencia, fusibles e interruptores termomagnéti -- cos. La coordinación de aparatos de protección debe hacerse con ca -- pacidades de corrientes en amperes RMS simétricos. Si un fusible o un interruptor van a ser empleados, la relación X/R de la corriente de prueba puede ser un gran auxiliar para determinar la mejor pro -- tección. La relación X/R de los circuitos determina la máxima corrien -- te pico disponible e indirectamente los esfuerzos magnéticos que pue -- dan ocurrir.

4.2.1.- Protección con Interruptores.- (ver Fig. 4.2.1).- Usualmente se requiere un retardo de tiempo en el interruptor principal de alimentación al equipo de transferencia, que se ilustra en la figura como interruptor "B", con el objeto de proporcionar una selectividad adecuada. Esto se obtiene mediante el empleo de interruptores electromagnéticos o termomagnéticos con características de tiempo corto que además protegen adecuadamente el equipo de transferencia, contra los daños ocasionados por la energía térmica  $I^2t$ . La coordinación se deberá efectuar también con el interruptor general de la subestación de servicio así como con el interruptor de mayor capacidad que tenga conectada la carga del sistema de emergencia, mostrados en la figura como interruptores "A" y "C" respectivamente.

4.2.2.- Protección con fusibles.- Los fusibles pueden interrumpir sin peligro altas corrientes de corto circuito de manera más rápida que los interruptores termomagnéticos, sin embargo una ventaja de estos últimos sobre los fusibles, es la posibilidad de operación múltiple de los polos para eliminar la operación monofásica. La corriente pico que deja pasar el fusible y la energía  $I^2t$  que pasa a través de él debe coordinarse con las características del equipo de transferencia a fin de evitar daños que puedan destruirlo.

4.2.3.- Protección de Interruptor de Transferencia Estático.- La corriente de corto circuito disponible es especialmente crítica en la aplicación de los interruptores de transferencia estáticos, por lo que se debe coordinar apropiadamente el tiempo en que el fusible libera la falla y la capacidad de l interruptor estático para minimizar los efectos sobre este último. Los interruptores termomagnéticos son considerados como lentos comparados con los fusibles cuando se trata de proteger los equipos estáticos, razón por la cual, siempre se utilizan fusibles. Como en todos los equipos de estado sólido deberá considerarse también una protección de transitorios de voltaje a fin de que no afecten los tiristores del interruptor estático.



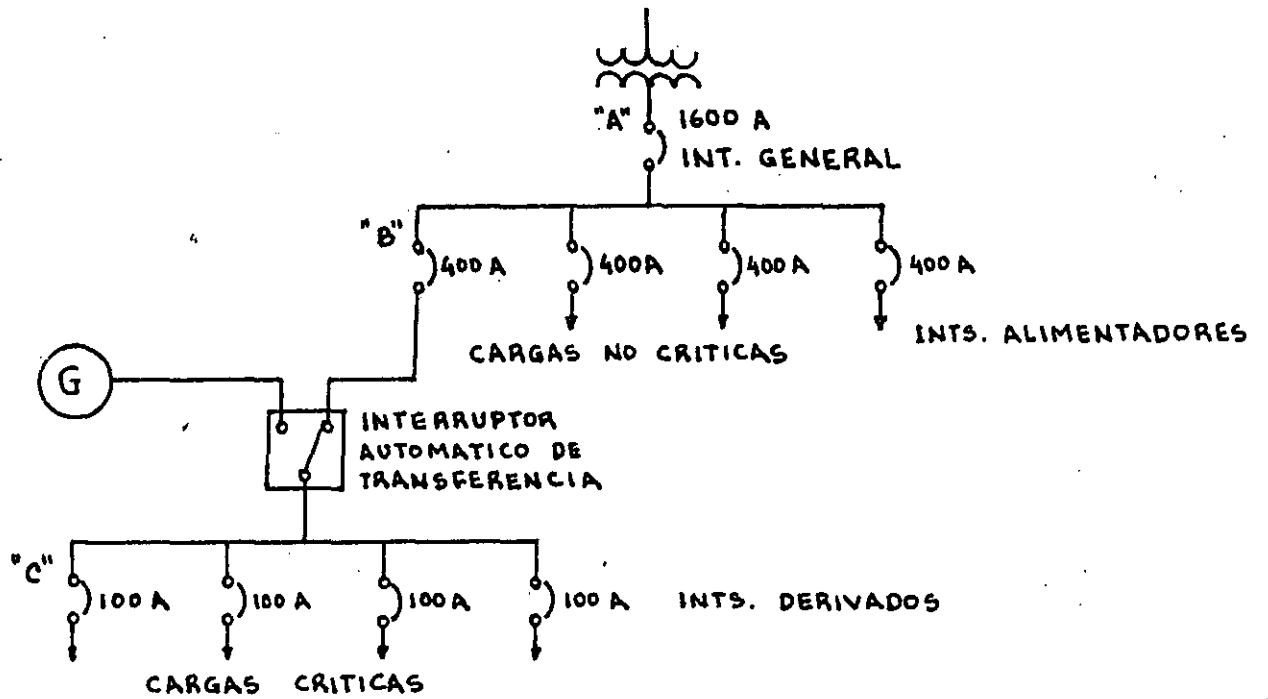


FIG. 4.2.1 DIAGRAMA UNIFILAR

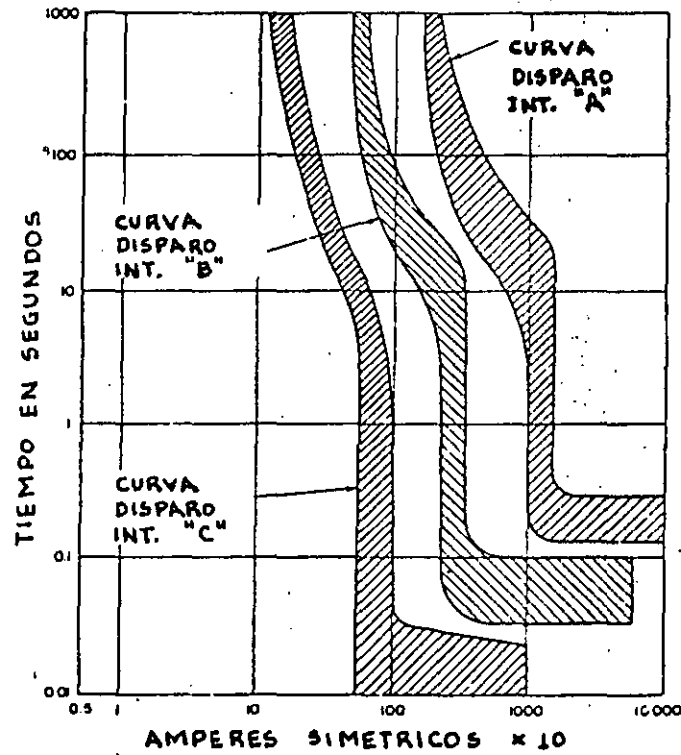
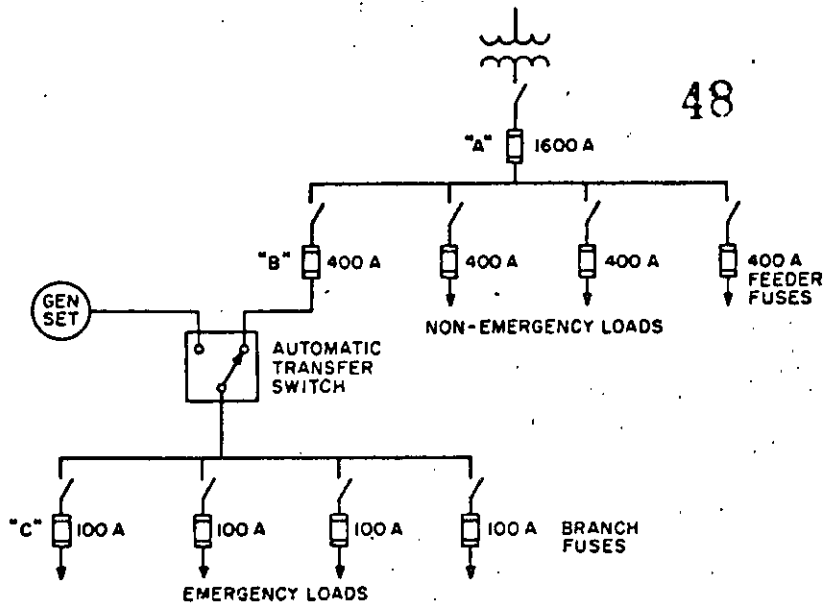


FIG. 4.2.2 COORDINACION DE PROTECCIONES



*PLANTA DE EMERGENCIA CON PROTECCION POR FUSIBLES*

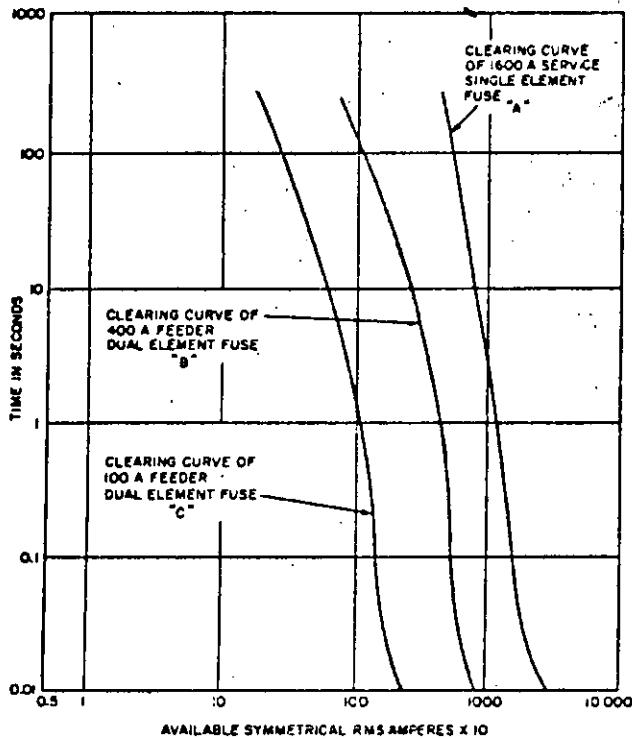


FIG. 4.2.3 *CARTA DE COORDINACION*

#### 4.3.- GENERACION

Cuando se esta utilizando el sistema de emergencia el generador es la parte mas crítica. Por tal razón su diseño de protección debe asegurar su confiabilidad.

El diseño de protección debe basarse en la evaluación de los costos de las pérdidas de las cargas crítica y la de la destrucción de las fuentes de emergencia.

##### 4.3.1.- PROTECCION DE LAS BOBINAS PRINCIPALES.

La protección de las bobinas principales con interruptores electromagnéticos de características ajustables en tiempo ofrecen una mayor flexibilidad de coordinación. Los interruptores termomagnéticos son más económicos y pequeños, pero más difíciles de coordinar con otros aparatos de sobrecorriente, los fusibles, por supuesto, son los equipos más simples y económicos, tienen alta confiabilidad cuando se aplican apropiadamente pero no ofrecen la flexibilidad de los interruptores.

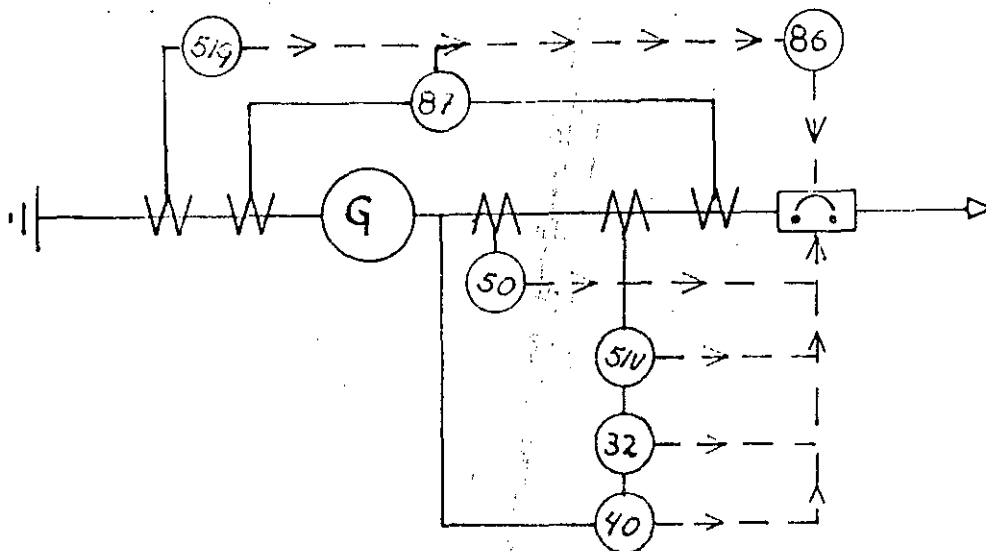
En los generadores pequeños la operación selectiva puede causar problemas cuando se dispone de corriente de corto-circuito limitada y es necesario ajustar el regulador de voltaje para lograr una corriente de falla apropiada para la selectividad necesaria. El colapso del generador debido a la lenta operación de un equipo de sobrecorriente puede desenergizar toda la carga crítica negando la inherente confiabilidad de la coordinación apropiada del sistema.

La protección de los generadores grandes puede variar de un simple termomagnético a un electromagnético con un sistema complejo de relevadores para iniciar el disparo.

Los cuales pueden ser:

- 50 Relevador de sobrecorriente instantaneo.
- 51V Relevador de sobrecorriente de tiempo de línea.
- 51G Relevador de sobrecorriente de tiempo de tierra.
- 32 Relevador direccional de potencia.
- 40 Relevador de campo.
- 46 Relevador de corriente para secuencia de fases.

## 87 Relevador de protección diferencial.

4.3.2.- PROTECCION DEL ROTOR.

Un interruptor de campo es un medio positivo de protección del rotor de los daños por sobrecorrientes debidas a la mala aplicación ó falla de los componentes del sistema de excitación. Pero no se debe asumir que un interruptor de campo proporcione la protección adecuada a las bobinas principales.

4.3.3.- OPERACION EN PARALELO.

La protección de generadores cuando dos ó más se operan en paralelo, es necesariamente más refinada que la de un solo generador, debido a que se necesita aumentar protección para: flujo inverso de potencia, inspección de sincronismo y desconexión de carga. La aplicación de relevadores direccionales de potencia debe ser cuidadosamente realizada ya que la sencibilidad de los relevadores puede causar disparos indeceables ó daños a los generadores.

4.4.- PRIMOTOR.

La forma más directa de protección de sobrecarga manteniendo cierto grado de confiabilidad, es la desconexión de carga. Dependiendo de la severidad del problema de estabilidad se puede

emplear la interrupción total ó por medio de la supervisión de frecuencia iniciar la desconexión parcial de la carga. Por ejemplo - cuando se esta utilizando generación múltiple es necesario utilizar desconexión automática instantánea para compensar la necesidad de - generación en la pérdida de un generador para poder asegurar la disponibilidad de energía remanente.

En generadores con cargas importantes es práctica común la combinación de la interrupción instantánea de parte de carga y la utilización de relevadores de baja frecuencia para desconexiones múltiples. Este tipo de protecciones requiere un estudio de estabilidad que determine la frecuencia de cada paso de desconexión, así como, su tiempo y la cantidad de carga a desconectar. La salida de voltaje del conjunto de generación decrece en forma proporcional a la frecuencia (velocidad del primotor) por lo que, en algunos casos, se utilizan relevadores de voltaje que por reducción de hasta el 50% de la carga permiten el retorno de los primotores a su velocidad de régimen.

La protección del primotor por medio de la supervisión del voltaje y de la frecuencia, no deben eclipsar la importancia del acoplamiento con el generador apropiado ó de las características del par del primotor.

La aplicación de los relevadores direccionales de potencia es una forma de protección de primotores, ellos deben prever la motorización de los generadores, cuando dos ó más generadores operan en paralelo, y en otras aplicaciones protegen contra sobrecargas a el - conjunto de generación por medio de una rápida operación impiden que la energía fluya en el sistema de suministro.

Para prevenir disparos molestos en la sincronización de generadores, se debe proporcionar un tiempo de retardo en la operación de los transitorios de flujos de energía en reversa presentes cuando - el primotor está en condición de girar en sincronismo.

#### 4.5.- SISTEMAS ININTERRUMPIBLES (UPS).

##### 4.5.1.- PROTECCION DE BATERIAS.

Las baterías aportan la confiabilidad inherente en un UPS y la protección deberá ser de primordial importancia. Algunas importantes áreas son sobrecarga, régimen de descarga y sus límites, temperatura ambiente, y detección de tierras.

Las sobrecargas causan gasificación y degradación de las baterías ácidas. Los gases pueden también ocasionar corrosión de las terminales. Una operación sostenida a altas temperaturas causa corrosión interna de las rejillas y de las placas de las baterías. Una alarma y disparo por bajo voltaje, puede prevenir la descarga innecesaria de las baterías y el daño consecuente.

Polongadas corrientes de sobrecarga pueden causar gasificación en las celdas ventiladas y calentamiento en las cerradas. En algunas celdas se protege contra las sobrecargas mediante desviaciones de las corrientes de carga.

El incremento de la temperatura ambiente afecta directamente algunas baterías ácidas mediante el incremento del consumo de agua corrosión en las rejillas, y producción de hidróxido. Esto es para decir que la operación a temperaturas mayores que las recomendadas acorta la vida de las baterías.

#### 4.5.2.- PROTECCION DEL CARGADOR DE BATERIAS.

Diversos dispositivos de protección para cargadores de baterías incluyen limitadores de corriente de salida, supresores de sobretensiones, y fusibles e interruptores. Un limitador de corriente de salida proporciona una protección contra sobrecarga del cargador. Un límite típico puede estar 125% del régimen de carga y para cortos periodos de tiempo la batería puede suministrar mayor carga si ésta es requerida. Algunos dispositivos limitadores de corriente proporcionan una interrupción automática del cargador cuando existen corrientes de corto-circuito. Los supresores de sobretensiones pueden estar provistos por el fabricante en la entrada y salida del cargador para protegerse contra transitorios en la línea. Interruptores de entrada y salida agregan protección contra sobrecarga así como proporcionan flexibilidad.

Dispositivos opcionales para cargadores de baterías incluir - voltmetro detector de tierras ó luces detectoras de tierras, desco-

nexión ó alarma por falla en el suministro y relevadores de sobre y bajo voltaje de C.D. Un relevador de C.A. para falla en el suministro protege la batería contra descargas innecesarias a través del cargador.

#### 4.5.3.- PROTECCION DEL INVERSOR.

Los inversores son comunmente protegidos a la entrada y a la salida con interruptores ó fusibles. Las prolongadas condiciones de corto circuito, switcheos fuera de fase, y conexiones equivocadas de polaridad en forma accidental son ejemplos de las condiciones que se protegen mediante interruptores y fusibles. Los limitadores de corriente en circuitos de salida, como con cargadores de baterías, son proporcionados por la mayoría de fabricantes.

Los inversores pueden estar diseñados para suministrar alguna capacidad de sobrecarga extra. Valores típicos de capacidad de sobrecarga pueden ser 125% para 10 minutos y 150% para 10 seg. Sensores de bajo voltaje pueden estar previstos para desconectar el inversor si el voltaje de la batería cae abajo de un valor predeterminado.

Un aspecto importante para la adecuación de la aplicación de inversores es una ventilación adecuada. Bajo condiciones de operación normal, los inversores pueden desprender una considerable cantidad de calor. Se debera tener cuidado no solo de proveer la adecuada ventilación, sino tambien de prevenir bloqueos de esta ventilación

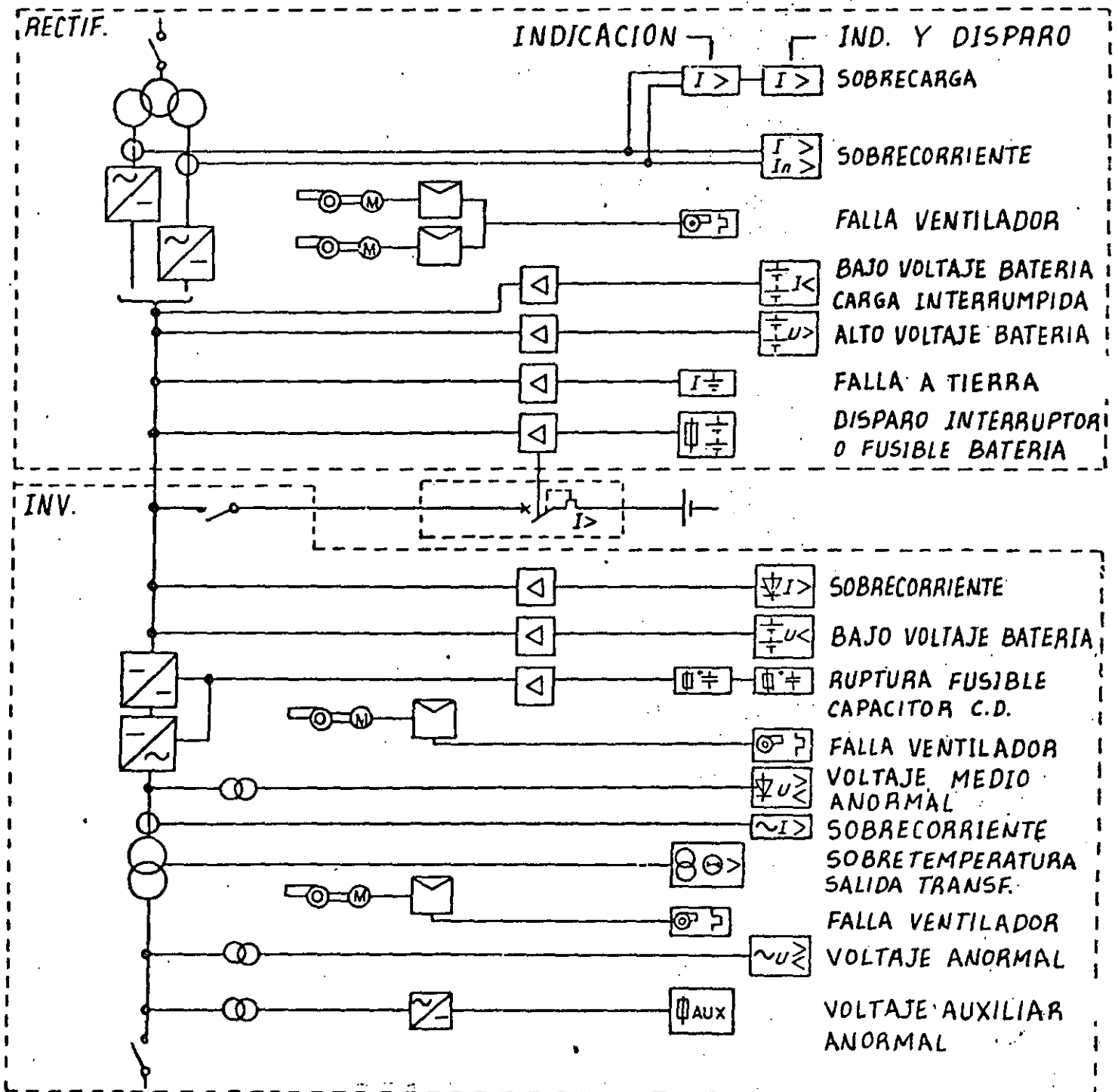
#### 4.6.- SISTEMAS DE TIERRAS.

La primer consideración de diseño de los sistemas de emergencia es la satisfacción de la continuidad del servicio. El sistema de tierras emleado y el arreglo de su equipo pueden afectar la continuidad del servicio.

Los conductores de tierras y sus conexiones deberán arreglarse en forma tal, que eviten la dispersión de corriente de neutro, y que la corriente de falla a tierra pueda fluir por los caminos predichos de baja impedancia; los cuales deben proteger al personal de choques electricos y asegurar la operación de los circuitos y equipo de protección. Donde las cargas entre fase y neutro sean grandes ,los sis-

4.5- PROTECCION SISTEMAS ININTERRUMPIBLES

UPS'S





temas requieren aterrizarse solidamente. Sin embargo, los sistemas de 600V. y 480V. donde las cargas son de fase a fase y el neutro no se utiliza, se puede utilizar los sistemas con alta resistencia de neutro a tierra ó los sistemas no aterrizados para proveer un alto grado de continuidad de servicio.

#### 4.6.1.- SISTEMAS SOLIDAMENTE ATERRIZADOS CON NEUTRO

##### INTERCONECTADO

Un sistema con neutro aterrizado (Fig. 4.6-1) y solidamente conectado en el switch de transferencia (no switchado) para interconectar el suministro normal con el generador de emergencia y aterrizado del lado de carga del medio desconector de servicio, NO ES RECOMENDADO, debido a que la corriente de dispersión fluyendo a través de los circuitos de baja impedancia de tierra puede afectar la operación de los equipos de protección de falla a tierra.

#### 4.6.2.- SISTEMAS SOLIDAMENTE ATERRIZADOS CON NEUTRO

##### TRANSFERIDO

Donde el neutro del sistema es transferido del suministro normal al sistema de emergencia se crean dos sistemas radiales separados. Los sistemas creados deberán aterrizarse en ó después del equipo de desconexión (Fig.4.6-2)

En los sistemas radiales el aterrizaje no intencional del neutro puede causar corrientes circulantes (que operen los equipos de protección de falla a tierra), por lo que se debe tomar precauciones para mantener al sistema libre de contactos de neutro a tierra.

#### 4.6.3.- SISTEMAS SOLIDAMENTE ATERRIZADOS CON TRANSFORMADOR

##### DE AISLAMIENTO PARA CARGA TRANSFERIBLE.

Donde una carga transferible es alimentada por un sis

tema derivado de un transformador de aislamiento y del equipo de transferencia localizado antes del transformador de aislamiento, como se ilustra en la Fig. 4.6-3. El transformador de aislamiento permite que las cargas (transferibles) de fase a neutro sean alimentadas sin neutro aterrizado en los alimentadores.

El neutro de la carga es proporcionado por el secundario del transformador.

Cualquier corriente de neutro ó de falla a tierra en el secundario del transformador no tienen efecto en el equipo de protección de falla a tierra en el servicio ó en el generador de emergencia.

#### 4.6.4.- SISTEMAS CON NEUTRO ATERRIZADO ATRAVES DE UNA RESISTENCIA.

Cuando no se requieren conductores de neutro, debido a que las cargas se conectan entre fases, se puede conectar éste (el neutro) a tierra por medio de una alta resistencia para limitar la corriente de falla a tierra. Este tipo de conexión por lo regular se utiliza en generadores de emergencia (a 480V ó 600V.) donde las cargas críticas de 3 fases, 3 hilos son permanentemente conectadas. Los sistemas con neutro aterrizado a través de alta resistencia proporcionan un alto grado de continuidad de servicio, debido a que el equipo de protección no es disparado por una primera falla a tierra.

Donde la carga crítica de 3 fases, 3 hilos es relativamente grande comparada con las cargas que necesitan aterrizaje sólido, se puede utilizar tanto el servicio de suministro normal como el generador de emergencia con neutros aterrizados a través de una resistencia (Fig. 4.6-4), cuando las cargas que requieren neutro solidamente aterrizado se alimentan por medio de un transformador de aislamiento switchado del servicio normal al generador de emergencia por medio de un transfer (no mostrado en la Fig. 4.6.4).

Los sistemas con neutro aterrizado a través de una re-

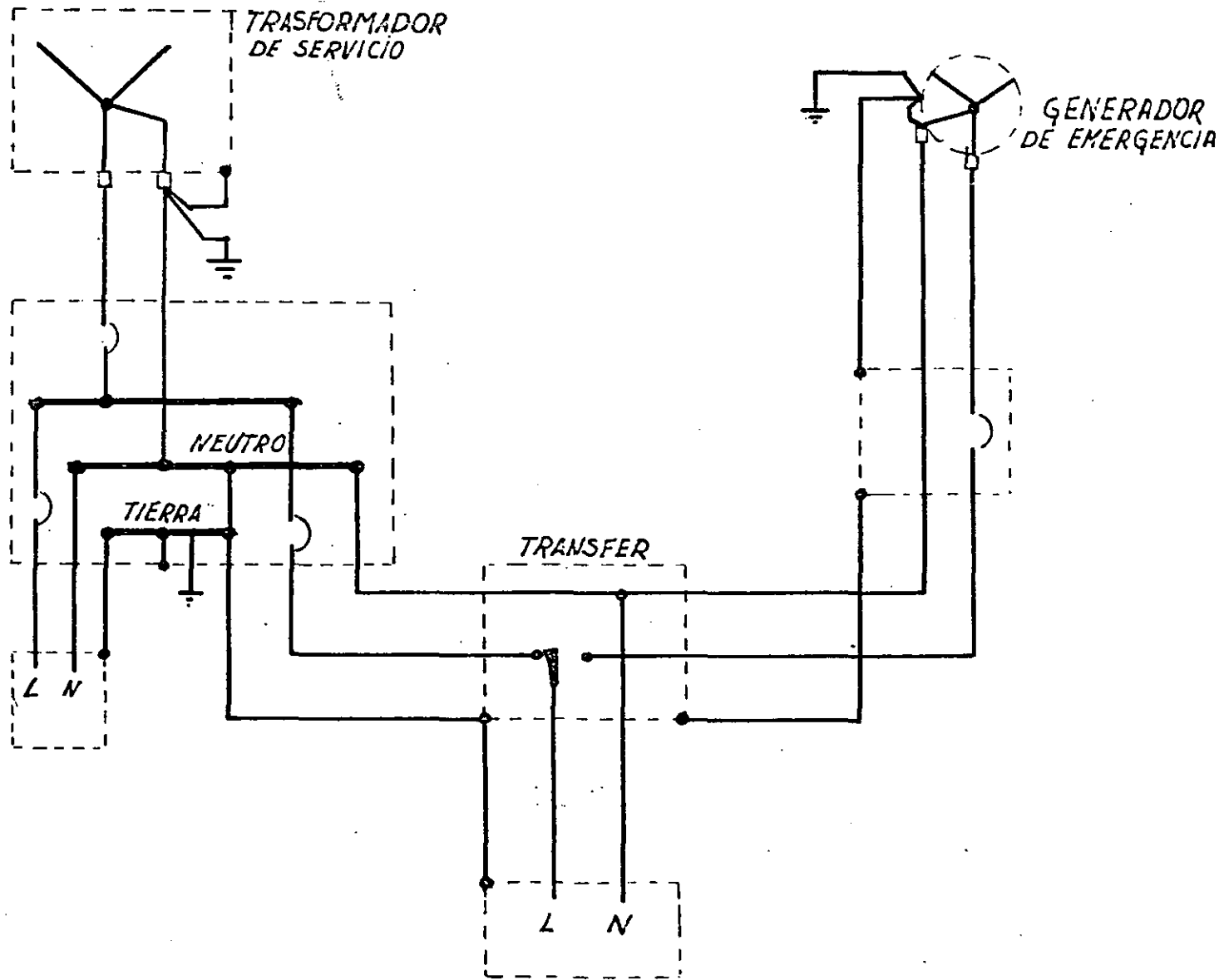


FIG 4.6-1  
 SISTEMA SOLIDAMENTE ATERRIZADO CON NEUTRO INTERCONECTADO

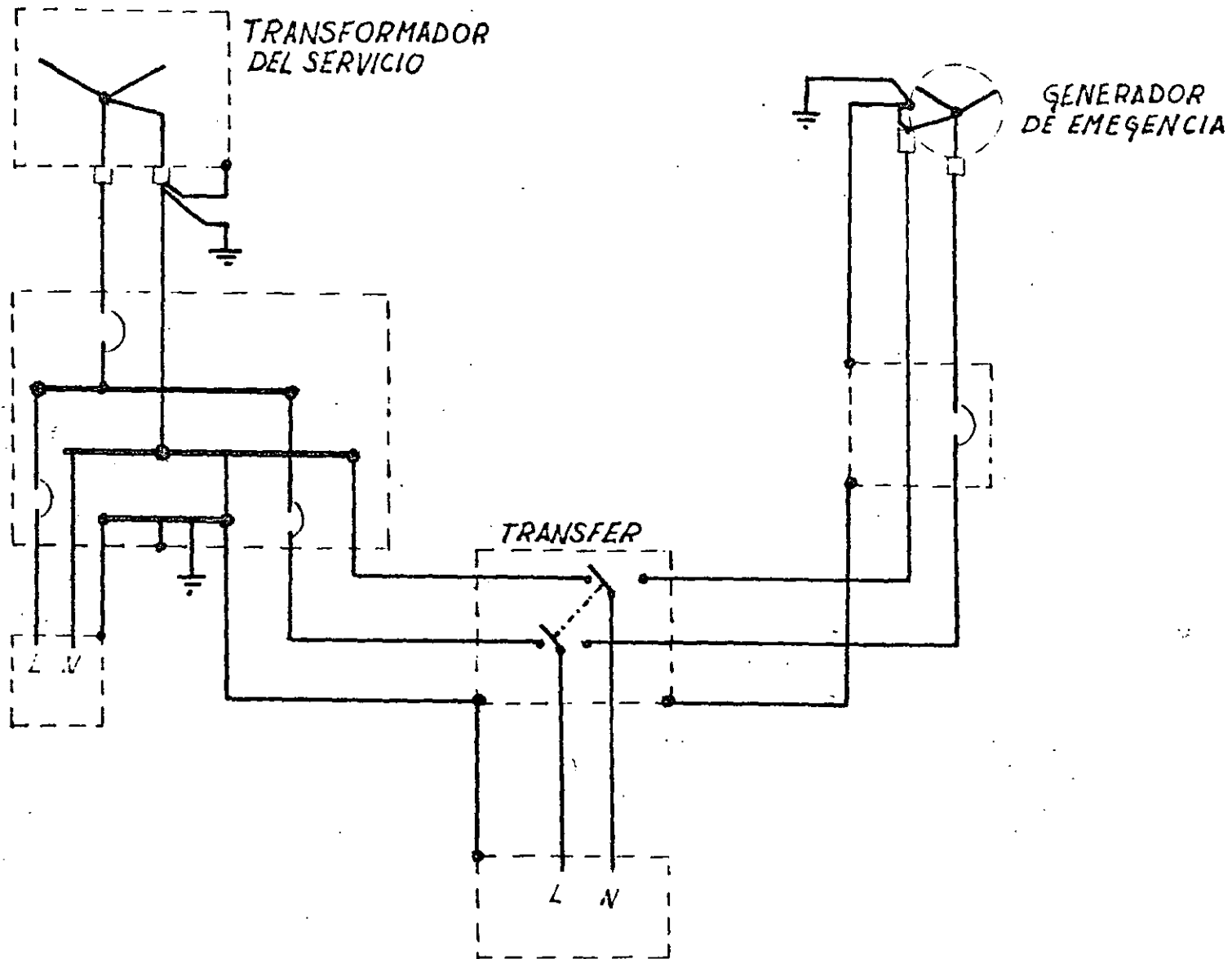


FIG 4.6-2  
 SISTEMA SOLIDAMENTE ATERRIZADO CON NEUTRO TRANSFERIDO

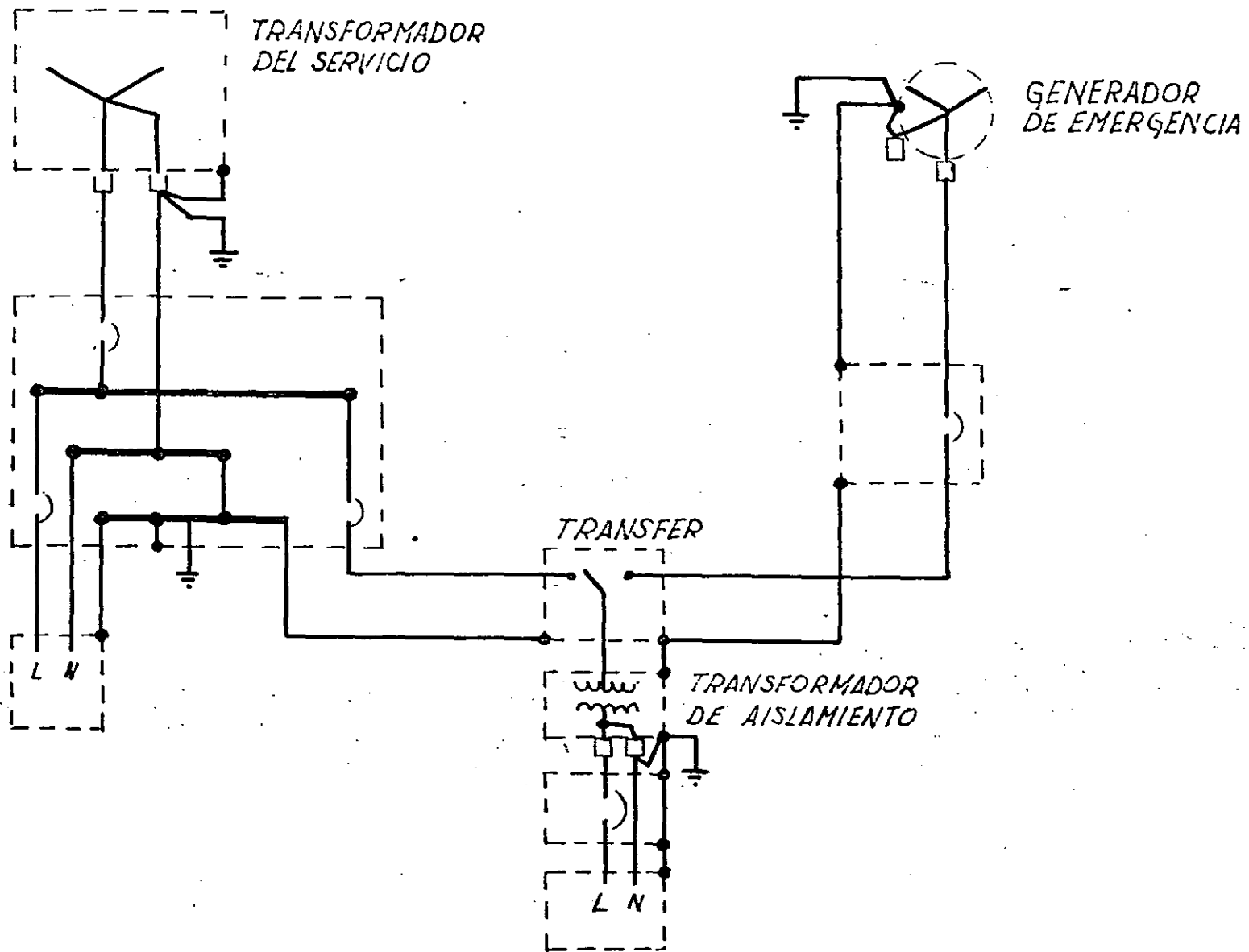


FIG 4.6-3  
 SISTEMA SOLIDAMENTE ATERRIZADO CON TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO  
 PARA CARGA TRANSFERIBLE.

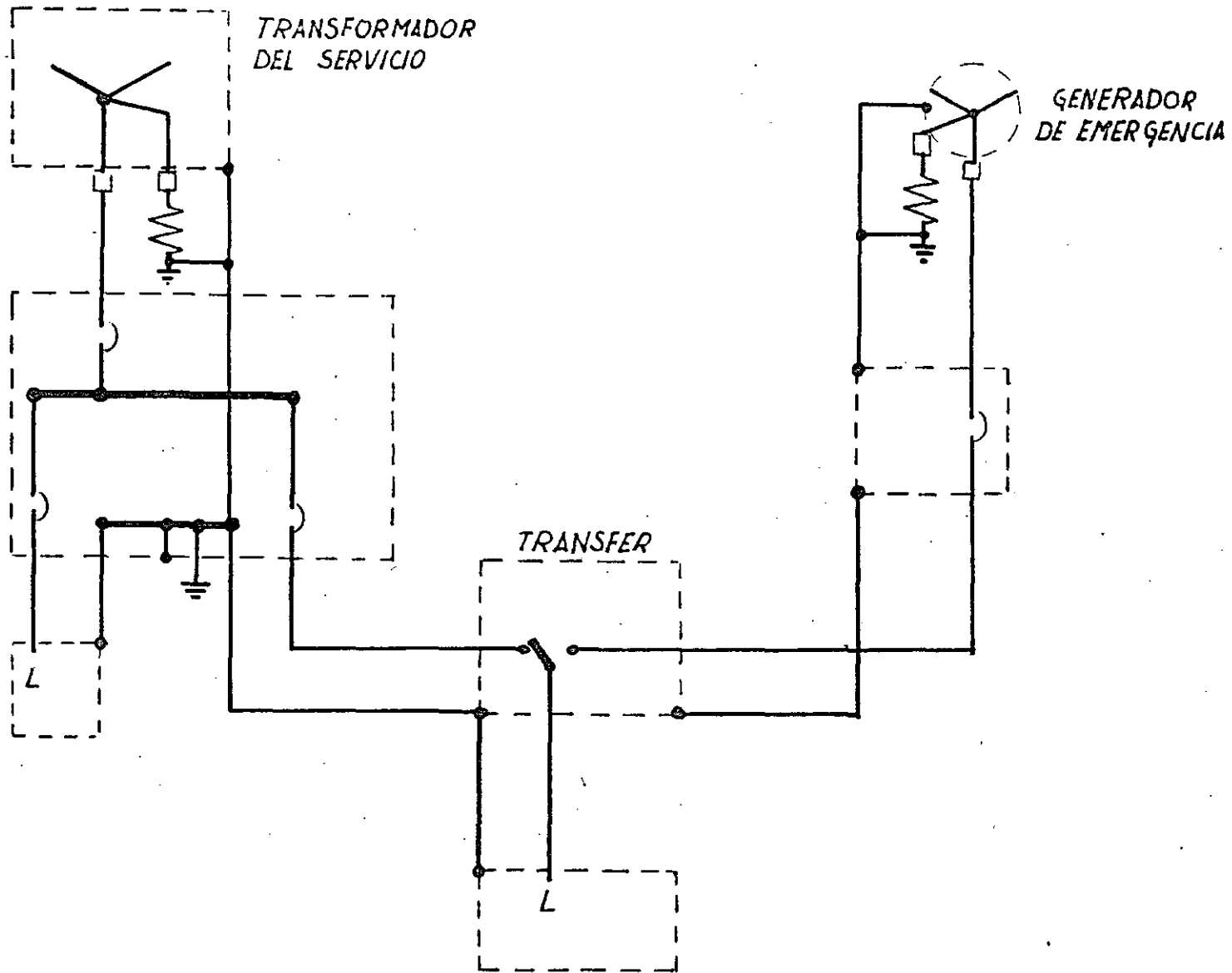


FIG 4.6-4  
 SISTEMA CON NEUTRO ATERRIZADO ATRAVES DE UNA RESISTENCIA

sistencia alta, no deben ser utilizados a menos que, los sistemas sean equipados con indicadores y alarmas de falla a tierra y que personal calificado esté siempre disponible para localizar y remover rápidamente la falla.

#### 5.- EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA

Costos, pérdidas reales y potenciales deben ser calculadas ó estimadas para justificar un sistema de emergencia en establecimientos industriales, comerciales y de servicio.

Una estimación de los costos asociados con cada suspensión en el suministro de energía deberá ser calculado y registrado en una bitácora con la fecha, duración y condiciones existentes en ese momento.

#### 5.1.- ECUACIONES PARA DETERMINAR EL COSTO DE INTERRUPCIONES DEL SUMINISTRO.

Una estimación del costo de una interrupción del suministro de energía desde el punto de vista de "dinero constante" puede ser calculado como sigue:

$$\text{COSTO; TOTAL DE FALLA} = E + H + I$$

Donde:

E = Costo de labor por los empleados afectados, en pesos.

H = Costo de material afectado por la interrupción en pesos.

I = Costo para restablecer la eficiencia que se tenía previa a la interrupción, en pesos.

El valor de E, H e I puede ser calculado como sigue:

$$E = AD ( B + C )$$

$$H = FG$$

$$I = JK ( B + C ) + LG$$

Donde;

- A = Número de empleados productivos afectados.
- B = Salario promedio por hora de los empleados afectados, en pesos.
- C = Gastos generales por hora de los empleados afectados, en pesos (Ejem. jornadas especiales, horas extra, etc.)
- D = Duración de la interrupción de energía, en horas.
- F = Unidades de material desperdiciado debido a la interrupción de energía.
- G = Costo por unidad de material desperdiciado debido a la interrupción, en pesos.
- J = Tiempo de reinicio hasta alcanzar la eficiencia normal.
- K = Número de empleados involucrados en el reinicio.
- L = Unidades de material desperdiciado durante el tiempo de reinicio.

Después de haber sido calculado el costo de la interrupción se le debe restar cuando sea el caso el ahorro debido a las utilidades inherentes al producto, para llegar a un costo total ocasionado unicamente por la suspensión del suministro de energía eléctrica.

#### 5.2.- EDIFICIOS COMERCIALES.

Para establecimientos comerciales un calculo similar puede ser efectuado con base en la duración de la interrupción, costos de labor, pérdida de beneficio en ventas, pérdidas debidas a robos y costos de reinicio.

#### 5.3.- PERDIDAS ADICIONALES DEBIDAS A INTERRUPCIONES DE ENERGIA.

En adición a las pérdidas relativas al "dinero contante" estan aquellas más difíciles de calcular pero que se deben incluir cuando se disponga de información, tales son:



- (1) Depreciación prorrateada de los costos de capital
- (2) Depreciación de la calidad de los materiales en proceso.
- (3) "Costo" del dinero invertido en materiales ó máquinas no usadas.

Otras pérdidas pueden ocurrir bajo condiciones especiales ó no usuales. En una planta industrial operando al 100% de capacidad, cualquier pérdida en la producción da como resultado una pérdida del beneficio. El costo de gastos prorrateables y generales variables también representan una pérdida. El gasto para una planta de emergencia tiene una justificación adicional bajo éstas condiciones.

#### 5.4.- DETERMINACION DE LA PROBABILIDAD DE FALLAS EN EL SUMINISTRO DE ENERGIA.

La probabilidad de fallas en el suministro deben ser determinadas mediante un estudio estadístico de la planta ó de la compañía suministradora.

Ejemplos de fallas de energía se muestran en la tabla 5.4-1.

TABLA 5.4-1

#### ESTADISTICA DE INTERRUPCIONES DE ENERGIA

<u>FECHA</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>DURACION</u>	<u>LINEA ALIMENTADORA</u>
9 Marzo	09:52	10 min.	14
11 Junio	21:53	12 seg.	14
11 Junio	22:13	9 seg.	14
15 Julio	20:40	5.5 seg.	13+22
17 Julio	19:13	1-2 min.	14 (9 veces)

Ya que el costo de una falla de interrupción de suministro de energía es pagado por el usuario, es importante que él relacione la confiabilidad, duración y calidad de la energía que requiere a sus necesidades y pueda justificar una planta de emergencia en caso de requerirlo.

#### 5.5.- FACTORES QUE INCREMENTAN LA PROBABILIDAD DE FALLAS

##### DE SUMINISTRO.

Cuando se alcanza ó se excede la carga a la cual el sistema está diseñado, la probabilidad de falla se incrementa. Existe una probabilidad similar cuando el sistema se torna más complejo y cuando el equipo envejece.

#### 5.6.- RESERVAS DE POTENCIA.

Las reservas de potencia en el area de usuarios deberá ser investigada. Un adecuado margen de reserva arriba de las demandas de carga pico proporcionan una guía a la confiabilidad del servicio debido a que el margen está previsto para algunas contingencias.

#### 5.7.- CONCLUSION.

La evaluación, justificación y decisión para la compra e instalación de alimentación de respaldo, planta de emergencia ó un equipo ininterrumpible de energía, ó una combinación de estos sistemas, debe incluir la consideración de todos los requerimientos de energía eléctrica, así como el estudio Técnico-Económico completo para todas y cada una de las necesidades involucradas en condiciones de una falla en el suministro eléctrico.

EL PRESENTE TRABAJO FUE DESARROLLADO POR:

ING. JUAN JOSE QUEZADA RAMIREZ.

ING. BERNABE TORRES HERRERA.

DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE INSTALACIONES ELECTRICAS  
DE LA GERENCIA DE CONSTRUCCION DE C.L. y F.C.

## BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA.

+

- 1.- Orange book  
IEEE Std 446-1980  
Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems  
for Industrial and Commercial Applications.
- 2.- Buff book  
IEEE Std 242-1975  
Recommended Practice for Protection and Coordination of In-  
dustrial and Commercial Power Systems
- 3.- Gray book  
IEEE Std 241-1974  
Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial  
Buildings
- 4.- Industrial Power Systems Handbook  
BEEMAN D. L.  
McGraw-Hill
- 5.- Revistas tecnicas:  
Electrical Construction and Maintenance  
de los meses: Enero 1976  
Mayo 1982
- 6.- Folletos técnicos:  
E S B DE MEXICO, S.A. DE C.V. EXIDE.  
Sistemas de Conversion de Energía.
- 7.- Protection of Computers against Transients, Interruptions,  
and Outages. Presented at the 1967 IEEE Industry and General Appli-  
cations Group Annual Meeting,  
BURCH, B. F., JR.
- 8.- Lighting Handbook  
KAUFMAN, J. E.
- 9.- Standard Handbook for Electrical Engineers  
FINK, D. G., and CARROLL

#### 4.9 Standards References

The following standards publications were used as references in preparing this section.

ANSI C84.1-1977, Voltage Ratings for Electric Power Systems and Equipment (60 Hz)

ANSI/IEEE C37.95-1973, Guide for Protective Relaying of Utility-Consumer Interconnections

ANSI/IEEE Std 100-1977, Dictionary of Electrical and Electronics Terms

ANSI/IEEE Std 450-1975, Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Large Lead Storage Batteries for Generating Stations and Substations

EGSMA GTD2-1971, Glossary of Standard Industry Terminology and Definitions

EGSMA IMFS1-1974, Standards and Recommendations for Installation and Maintenance of Farm Standby Electric Power

EGSMA TDGS1-1972, Standard Specifications for Tractor Driven Generator Sets

EGSMA EGS1-1970, Standard Specifica-

tions for Standby Engine Driven Generator Sets

IEEE Std 141-1976, Electric Power Distribution for Industrial Plants

IEEE Std 241-1974, Electric Power Systems in Commercial Buildings

IEEE Std 387-1972, Criteria for Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies for Nuclear Power Generating Stations

IEEE Std 485-1978, Recommended Practice for Sizing Large Lead Storage Batteries for Generating Stations and Substations

NECA Electrical Design Library Series 17, Electrical Design Guidelines (1971)

NECA Electrical Design Library Series No 3/74, Emergency and Standby Power Generation (1974)

NFPA No 70-1978, National Electrical Code

NFPA 101-1976, Life Safety Code

#### 4.10 References and Bibliography

##### 4.10.1 References

[1] IEEE Committee Report. Reliability of Electrical Equipment, Pt 1. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol IA-10, Mar/Apr 1974, pp 213-235.

[2] SAWYER, J. W. Gas Turbine Emergency/Standby Power Plants. *Gas Turbine International*, Jan/Feb 1972.

[3] HEISING, C. R., and JOHNSTON, J. F., JR. Reliability Considerations in Systems Applications of Uninterruptible Power Supplies. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol IA-8, Mar/Apr 1972, pp 104-107.

##### 4.10.2 Bibliography

[4] KUSKO, A., and GILMORE, F. E. Concept of a Modular Static Uninterruptible Power System. *Conference Record of the 1967 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 34C62, pp 147-153.

[5] LAWSON, L. J. A True No-Break, Off-Line Uninterrupted Power Supply. *Conference Record of the 1967 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 34C62, pp 154-158.

[6] GRIFFITH, D.C., and YUEN, M. H. Static No-Break Power for Critical Loads in a Modern Oil Refinery. *Conference Record of the 1967 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*. IEEE 34C62, pp 643-652.

[7] KUSKO, A., and GILMORE, F. E. Application of Static Uninterruptible Power Systems to Computer Loads. *Conference Record of the 1969 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 69-C5 IGA, pp 635-639.

[8] RELATION, A.E. UPS Systems for Critical Power Supplies. *Conference Record of the 1971 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 71C1-IGA, pp 877-884.

[9] WALKER, L. H. Inverter for UPS with Subcycle Fault Clearing Capabilities. *Conference Record of the 1971 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 71C1-IGA, pp 361-370.

[10] WOLPERT, T. Uninterruptible Power Supply for Critical AC Loads—A New Approach. *Conference Record of the 1973 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE 73CHO763-3IA, pp 595-602.

- [11] GROSS, S. Rapid Charging of Lead Acid Batteries. *Conference Record of the 1973 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE 73CHO763-3IA, pp 905-912.
- [12] HAUCK, T. A. Motor Reclosing and Bus Transfer. *IEEE Transactions on Industry and General Applications*, vol IGA-6, May/June 1970, pp 266-271.
- [13] HELMICK, C. G. Designing for System Reliability in Large Uninterruptible Power Supplies. *Conference Record of the 1971 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 71C1-IGA, pp 371-384.
- [14] HELMICK, C. G. Uninterruptible Power Supply Systems—What, Why, Where, and When? Presented at the 34th American Power Conference, Chicago, IL, Apr 18-20, 1972.
- [15] KATZAROFF, P. A Base Guide to Uninterruptible Power Systems. *IEEE Conference Record of the 1974 26th Annual Conference of Electrical Engineering Problems in the Rubber and Plastics Industries*, IEEE 74CHO831-8IA, pp 1-6.
- [16] KENNY, R. W., MCGOVERN, M. J., and TORPEY, P. J. Development of a Gas Turbine-Alternator System for Emergency Power Applications. *IEEE Transactions on Industry and General Applications*, vol IGA-1, Jan/Feb 1965, pp 3-8.
- [17] LAWSON, L. J. New Uninterruptible Power System Alternatives Using High Capacity Kinetic Energy Wheels. *Conference Record of the 1973 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE 73CHO763-3IA, pp 151-156.
- [18] PALKO, E. Standby Generator Specification Chart. *Plant Engineering*, Feb 18, 1971, pp 65-70.
- [19] RELATION, A. E. UPS Systems for Critical Power Supplies. *Conference Record of the 1971 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 71C1-IGA, pp 877-884.
- [20] RELATION, E. A., WINPISINGER, J. L., and MITCHELL, J. T. Uninterruptible Power System Using an Improved Magnetic Voltage Stabilizer. *Conference Record of the 1973 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE 73CHO763-3IA, pp 17-23.
- [21] RENFREW, R. M. Successful Uninterruptible Power Systems for Computers. *Conference Record of the 1968 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 68C27-IGA, pp 787-792.
- [22] ROBERTS, A. M. Power Failure Ride-Through for an Inverter System Using Its Own Induction Motor Load as the Energy Source. *Conference Record of the 1968 IEEE Industry and General Applications Group Annual Meeting*, IEEE 68C27-IGA, pp 737-742.
- [23] SCHWARM, E. G., and LITTLE, A. D. Computer Uninterruptible Power System with High Speed Static Bypass. Presented at the Summer Power Meeting and International Symposium of High Power Testing of the IEEE Power Engineering Society, Portland, OR, Jul 18-23, 1971.
- [24] SUMMERS, G. E. Providing Reliable Power for Computer Systems. *Plant Engineering*, Jan 7, 1971.
- [25] SWENSON, E. C. How to Select and Install Standby Electric Plants. *Electrical Construction and Maintenance*, Jan 1963.
- [26] The Exciting World of Rechargeable Batteries. *Factory*, Apr 1967, pp 84-87.

- [27] System for Orderly Emergency Shutdown. *Modern Manufacturing*, Dec 1969.
- [28] Uninterruptible Power System Prevents Computer Downtime. *Rubber World*, Nov 1970, pp 58-60.
- [29] The Electric Way to Standby Power. *Plant Operating Management*, Feb 1970, pp 62-65.
- [30] Emergency and Standby Power Systems. *Electrical Consultant*, Oct 1971.
- [31] The Automatic Transfer Switch Heart of Emergency Power. A Reliability Study of a Power Supply System. The Battery World. *Electrical Consultant*, vol 88, Nov 1972.
- [32] Rating Factors for Generating Plants. Tech Bull T-917. ONAN Company, 1400 73rd Avenue NE, Minneapolis, MN 55432.
- [33] TERVAY, J. C. Nickel Cadmium Pocket Plate Batteries for Standby Power Applications and Systems. Nife, Inc, 23 Dixon Avenue, Copiague, NY 11726.
- [34] Standby Gas Turbine Alternator Package. Publ SD1984. International Harvester Company, 2200 Pacific Highway, San Diego, CA 92112.
- [35] Synchronizer. Publ 200-Syn-68 (Gas Turbine). Electric Machinery Manufacturing Company, Minneapolis, MN 55413.
- [36] Emergency Lighting Handbook. Radiant Industries, Inc; 10900 Burbank Boulevard, North Hollywood, CA 91601.
- [37] GILL, J. D. Transfer of Motor Loads Between Out-of-Phase Sources. *Conference Record of the 1978 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, pp 1182-1189.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES PRIMERA PARTE

ANEXO DEL TEMA 11: "DESCRIPCION DE LA INGENIERIA DE DISEÑO

ING. ABEL GARCIA OROPEZA

MAYO, 1985

## DESCRIPCION DE LA INGENIERIA DE DISEÑO.

### 1.- GENERALIDADES

1.1 Definición

1.2 Normas

1.3 Consideraciones Básicas.

1.3.1 Consideraciones Básicas Técnicas.

1.3.1.1 Seguridad

1.3.1.2 Confiabilidad

1.3.1.3 Simplicidad

1.3.1.4 Flexibilidad

1.3.2 Consideraciones Básicas Económicas.

1.3.2.1 Costo Inicial

1.3.2.2 Costo de operación y mantenimiento.

1.3.2.3 Costo de fallas

1.3.3 Consideraciones Básicas en Areas de Alto Grado de Continuidad de Servicio

### 2.- INGENIERIA DE DISEÑO.

2.1 Anteproyecto

2.1.1 Análisis de cargas, actual y futura

2.1.2 Características del suministro de Energía Eléctrica.

2.1.3 Centros de carga

2.1.4 Puntos Básicos del Sistema

2.2 Ejemplo

2.2.1 Proyecto original

2.2.2 Alternativa

2.2.3 Análisis Comparativo.

2.2.4 Conclusiones.

### 3.- PROYECTO DEFINITIVO

3.1 Diagrama Unifilar definitivo

3.2 Corrientes de falla

3.3 Selección de equipo de protección

3.4 Sistema de Tierras

3.5 Alumbrado y Contactos.

3.6 Distribución de Fuerza.

3.7 Sistema de distribución secundaria

3.8 " " " primaria

3.9 Plantas de Emergencia.

3.10 Coordinación de Protecciones

3.11 Corrección del factor de potencia

3.12 Pararrayos

3.13 Instalaciones menores: teléfonos, sonido, intercomunicación, TV en circuito cerrado, alarmas, etc.

### 4.- ESPECIFICACIONES.

### 5.- MEMORIA DE CALCULO

### 6.- PLANOS

### 7.- RELACION DE EQUIPO Y MATERIALES.

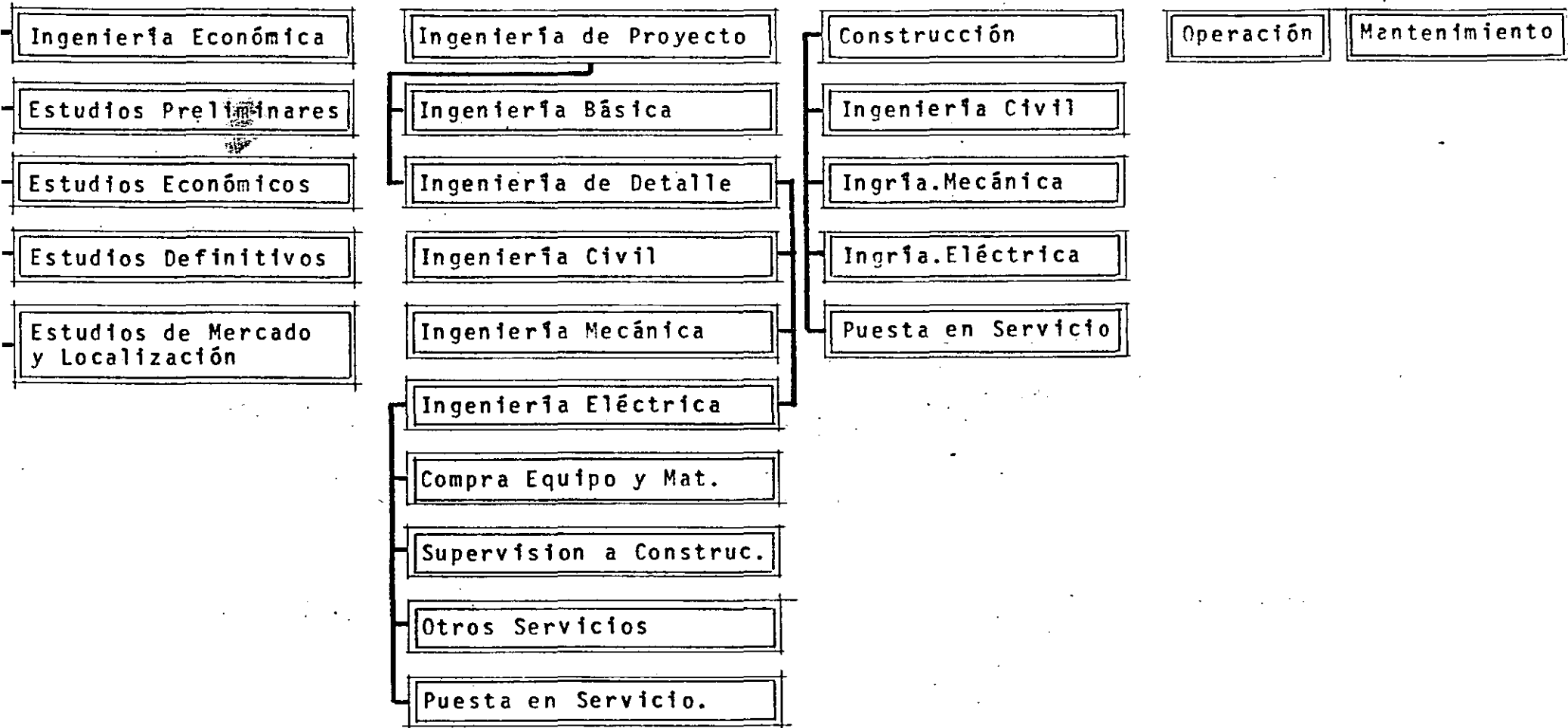
### 8.- ESTIMACION DEL COSTO.

## 1.- GENERALIDADES:

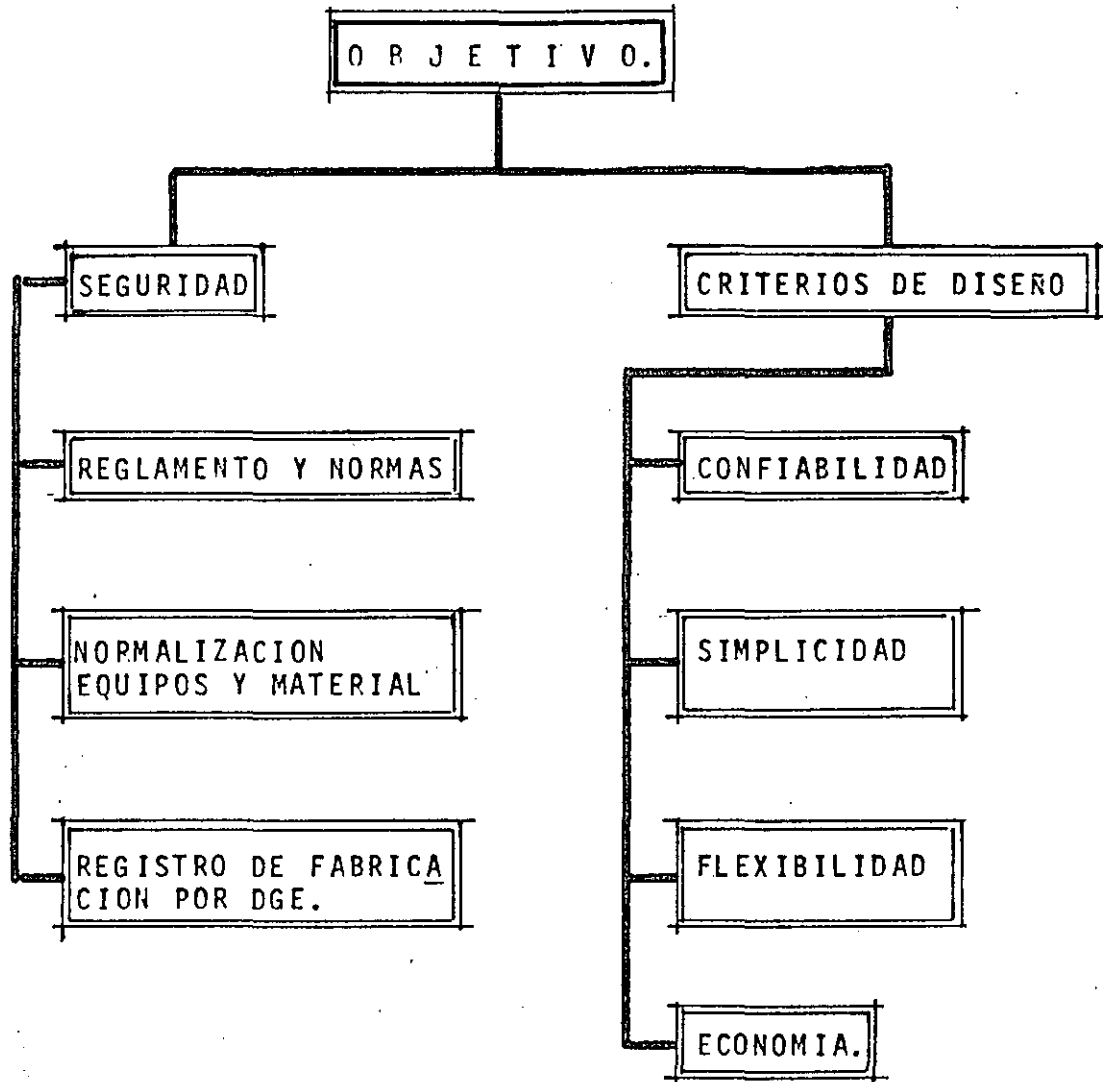
### 1.1 DEFINICION.

La Ingeniería de Diseño de Instalaciones Eléctricas Industriales permite obtener el sistema de distribución de energía eléctrica adecuado a los requerimientos dentro de un valor económico. Estos requerimientos o necesidades se traducen en dibujos o planos y especificaciones que unidos a una Memoria de Cálculo con lo cual se tiene la información para la adquisición de equipo y materiales, instalación y pruebas de puesta en marcha, así como la consideración de la operación del sistema y su mantenimiento.

INGENIERIA Y CONSTRUCCION.



INSTALACIONES ELECTRICAS.



### 1.3.- CONSIDERACIONES BASICAS.

El sistema de distribución de energía eléctrica debe estar en una base total, que incluya los aspectos técnicos y económicos. Algunos de los más importantes aspectos a considerar son:

#### 1.3.1 CONSIDERACIONES BASICAS TECNICAS.

1.3.1.1 Seguridad.- De la vida de las personas y la preservación de la propiedad.

1.3.1.2 Confiabilidad.- La continuidad del servicio requerido depende del tipo de manufactura o proceso de la planta. Algunas plantas pueden tolerar interrupciones mientras que otras pueden requerir un alto grado de continuidad en el servicio.

1.3.1.3 Simplicidad.- La operación deberá ser tan sencilla como sea posible para encontrar los requerimientos del sistema. Debe considerarse en la operación y mantenimiento seguros y confiables del sistema de potencia industrial.

1.3.1.4 Flexibilidad.- Adaptación del sistema al desarrollo, expansión y cambios requeridos durante la vida de la planta. Debe considerarse la capacidad y espacio suficiente para equipo adicional por incrementos de carga.

#### 1.3.2 CONSIDERACIONES BASICAS ECONOMICAS.

1.3.2.1 Costo Inicial.- En base a un análisis económico y siempre bajo la misma base de comparación. El costo inicial debe incluir todas las partes del sistema a comparar.

1.3.2.2 Costo de operación y mantenimiento.

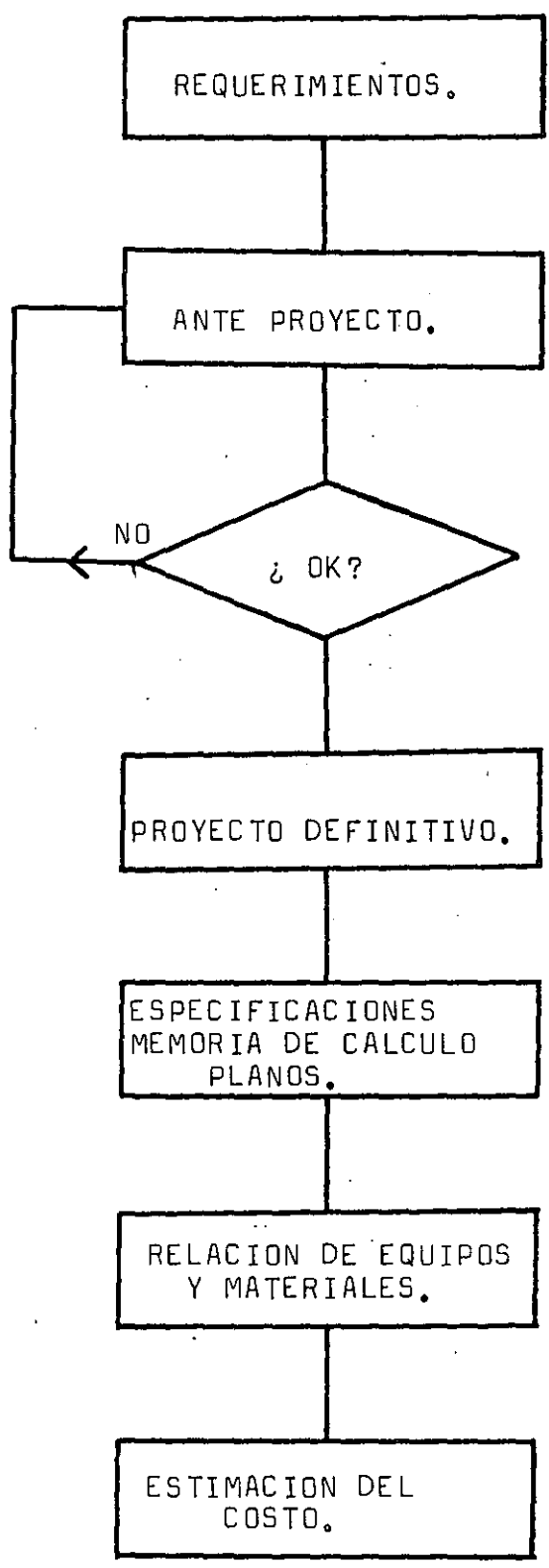
1.3.2.3 Costo de Fallas.

1.3.3 Consideraciones Básicas en áreas de alto grado de continuidad de servicio como son líneas de producción continua y salas de cómputo.

Además de las consideraciones básicas anteriores se deberán considerar a estas áreas con un sistema.

- . Independiente
- . Exclusivo
- . Redundante

2.- INGENIERIA DE DISEÑO.



## 2.1.- ANTEPROYECTO

### 2.1.1 ANALISIS DE LAS CARGAS. ACTUAL Y FUTURA.

- . Naturaleza
- . Magnitud
- . Localización.

Además conocer el proceso de manufactura o producción y estimar cargas no conocidas.

### 2.1.2 CARACTERISTICAS DEL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA.

- . Voltaje, fases, frecuencia.
- . Capacidad interruptiva MVA.
- . Relación  $\frac{X}{R}$

- . Interrupciones en la zona.
- . Acometida aérea o subterránea.
- . Costos de energía. Tarifas.

Iniciar solicitud de presupuesto con CFE ó CLYF para conocer problemas en el suministro.

### 2.1.3 CENTROS DE CARGA.

Considerar los siguientes criterios:

- . Niveles de tensión
  - . Motores grandes
  - . Agrupar por: zonas  
función
  - . Considerar cargas para servicio: Normal  
Emergencia
  - . Cargas de alta prioridad de continuidad de servicio
  - . Areas riesgosas
- En esta base calcular centro(s) de carga.

### 2.1.4 PUNTOS BASICOS DEL SISTEMA.

- . Niveles de voltaje
  - . Distribución Primaria.- En alta tensión.
  - . Distribución Secundaria.- En baja tensión.
- . Configuración del sistema en base a confiabilidad, flexibilidad, etc.
  - . Radial
  - . Secundario selectivo



- . Malla secundaria
- . Otros.
- . Localización y tamaño de Subestaciones.
- . Circuitos de emergencia.
  - . Iluminación
  - . Cargas críticas
  - . Cargas con alto grado de continuidad de ser vicio.
- . Sistemas combinados de fuerza y alumbrado.
  - . Problemas de parpadeo
  - . Transformadores secos
  - . Luminarios con balastos a 440/257V.
- . Sistema de Tierras.
  - . Sistema con neutro aterrizado.
  - . Sistema de tierras del equipo no conductor de corriente
- . Distribución Secundaria
  - . Tipo y tamaño de alimentaciones
  - . Tipo de canalizaciones
  - . Tipo de protección de circuito corto en circuitos derivados.
- . Regulación de voltaje.
  - . Para variación amplia de voltaje de suministro.
  - . Análisis de cargas sensibles al voltaje.
  - . Uso de reguladores de voltaje.
    - . En el suministro
    - . Individuales
    - . Otros medios; capacitores
- . Protección de circuito corto.
  - . Análisis interruptores Vs fusibles
  - . Previsión de incrementos futuros.
- . Protección contra sobrevoltajes
  - . Características y localización de Apartarrayos.
  - . Protección de máquinas rotativas.
- . Corrección del factor potencia.
  - . Regulación de voltaje y capacidad de corriente en alimentadores por el uso de capacitores.
  - . Localización y capacidad de capacitores. Ahorro por cargos por bajo factor de potencia.
  - . Control de KVAR.

AGRUPAR CARGAS

5 - 2/4

CONSIDERAR LOS SIGUIENTES CRITERIOS:

- NIVELES DE TENSION
- MOTORES GRANDES
- AGRUPAR POR ZONAS Y FUNCION
- POR SERVICIO.

NIVELES DE TENSION.- CUANDO SE REQUIEREN DIFERENTES NIVELES DE TENSION EN UNA INSTALACION ELECTRICA INDUSTRIAL, LAS CARGAS SON AGRUPADAS DE ACUERDO A ESTOS NIVELES.

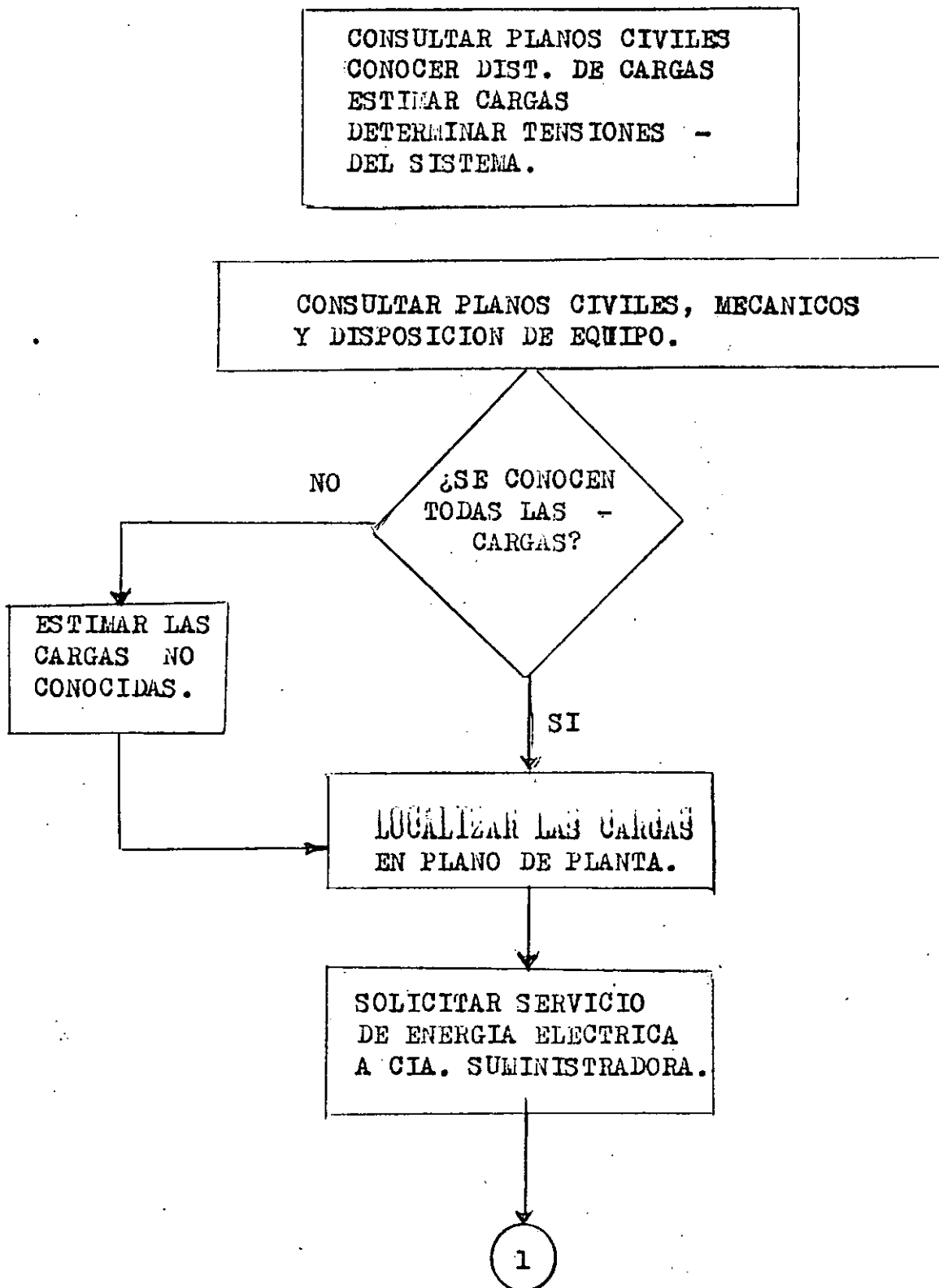
MOTORES GRANDES.- NORMALMENTE INFLUYEN EN LOS NIVELES DE TENSION ESCOGIDOS. SE DEBE CONSIDERAR LA FLUCTUACION DE LA TENSION DURANTE EL PERIODO DE ARRANQUE.

AGRUPACION POR ZONAS.- DE ACUERDO AL ARREGLO QUE SE TIENE DE LAS CARGAS, ESTAS SON AGRUPADAS TAMBIEN POR ZONAS, YA QUE DE NO HACERSE ASI SE TENDRIAN COSTOS MUY ALTOS DE LA INSTALACION DEBIDO A LAS DISTANCIAS QUE SE TENDRIAN DEL CENTRO DE CARGA A LAS CARGAS.

AGRUPACION POR FUNCION.- HAY CARGAS QUE SE PUEDEN CONECTAR DIRECTAMENTE A UN TABLERO DE DISTRIBUCION, MIENTRAS QUE OTRAS REQUIEREN DE DISPOSITIVOS ADICIONALES PARA SU OPERACION (MOTORES) Y QUE GENERALMENTE SE CONECTAN A CENTROS DE CONTROL DE MOTORES.

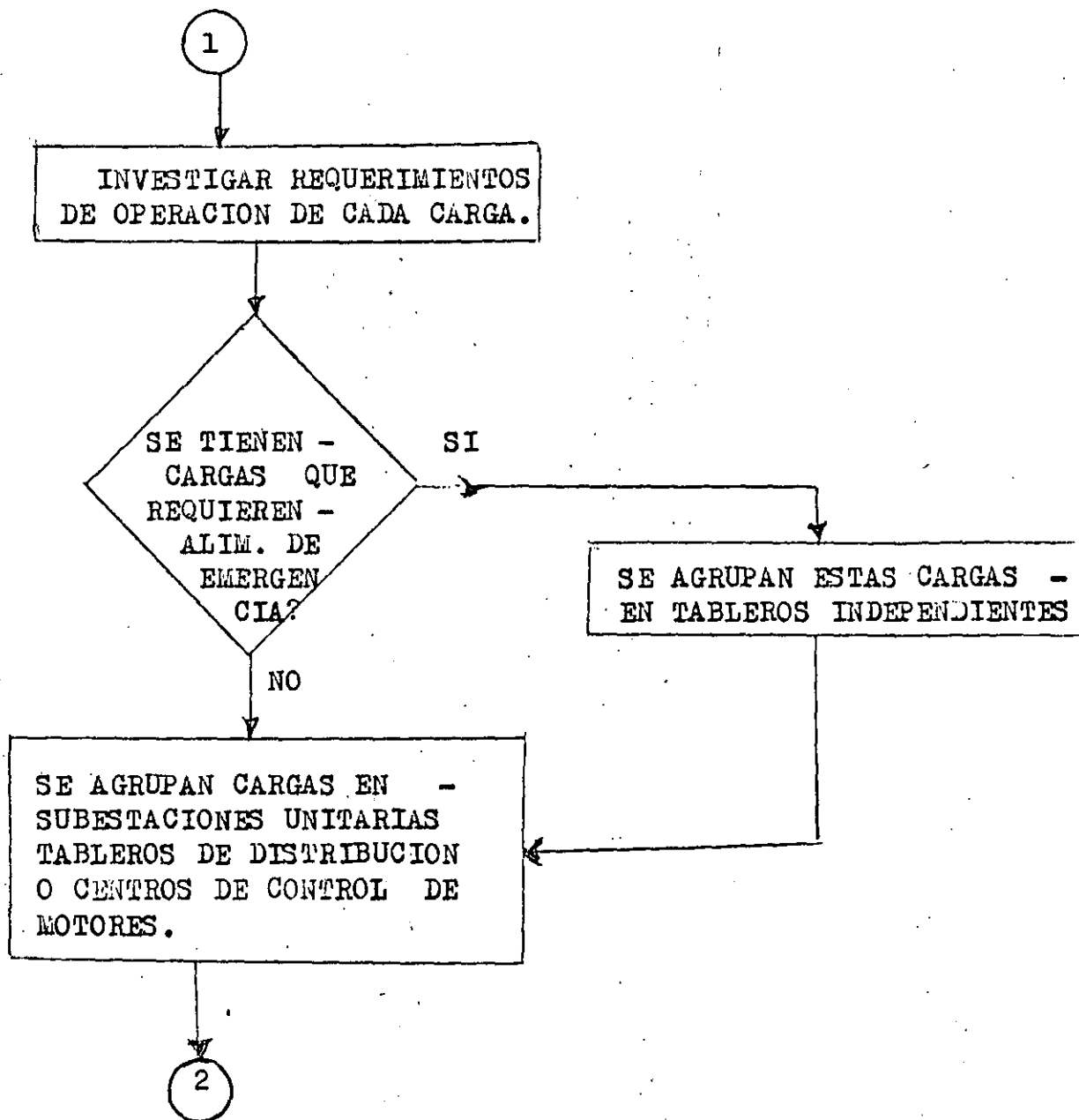
POR SERVICIO.- EN LA GRAN MAYORIA DE INSTALACIONES INDUSTRIALES SE TIENEN SERVICIOS QUE REQUIEREN DE CONTINUIDAD POR SU IMPORTANCIA, POR LO QUE ESTE TIPO DE SERVICIOS SE AGRUPAN EN LO QUE SE LLAMA SERVICIOS DE EMERGENCIA Y DE

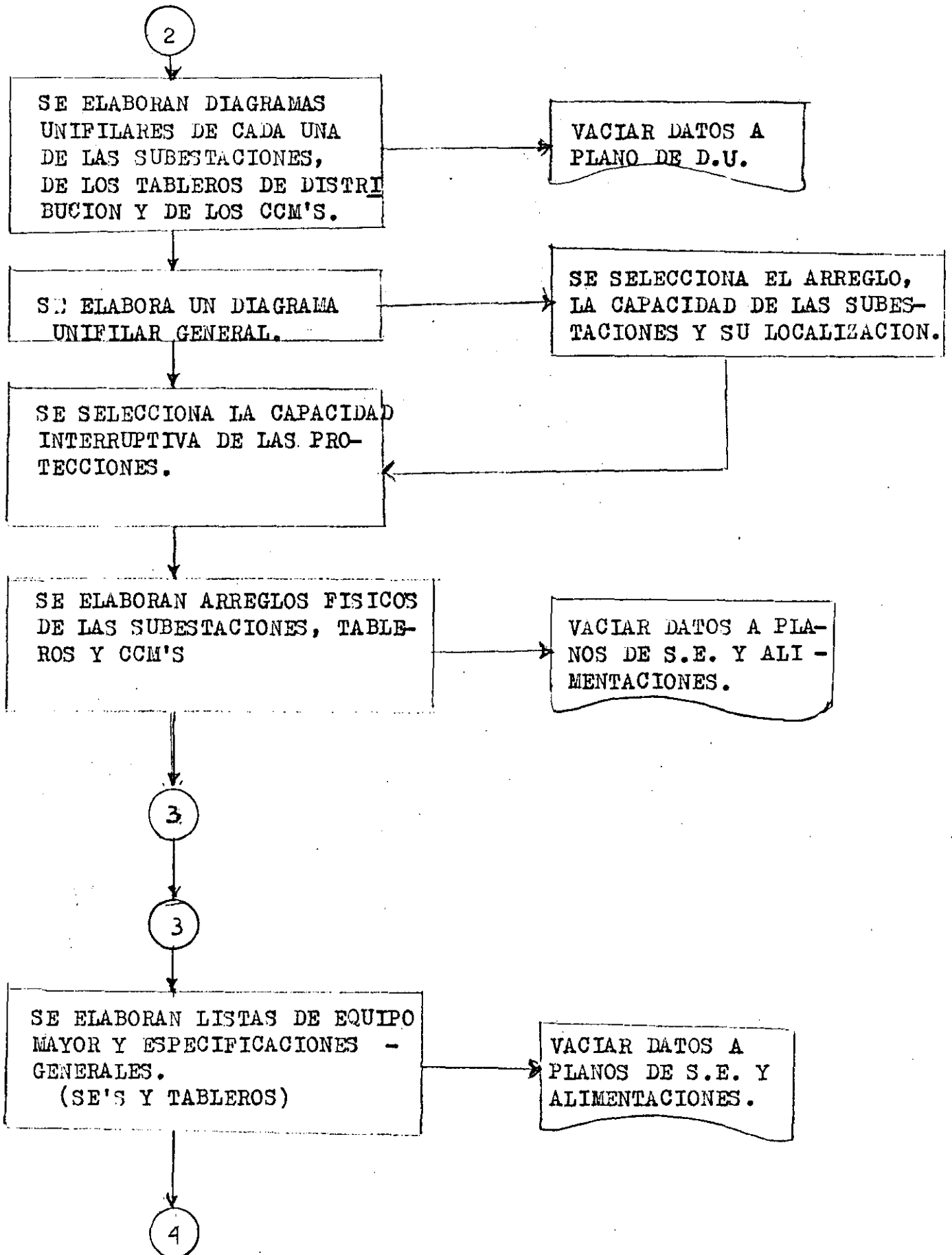
SECUENCIA DE UN PROYECTO ELECTRICO INDUSTRIAL

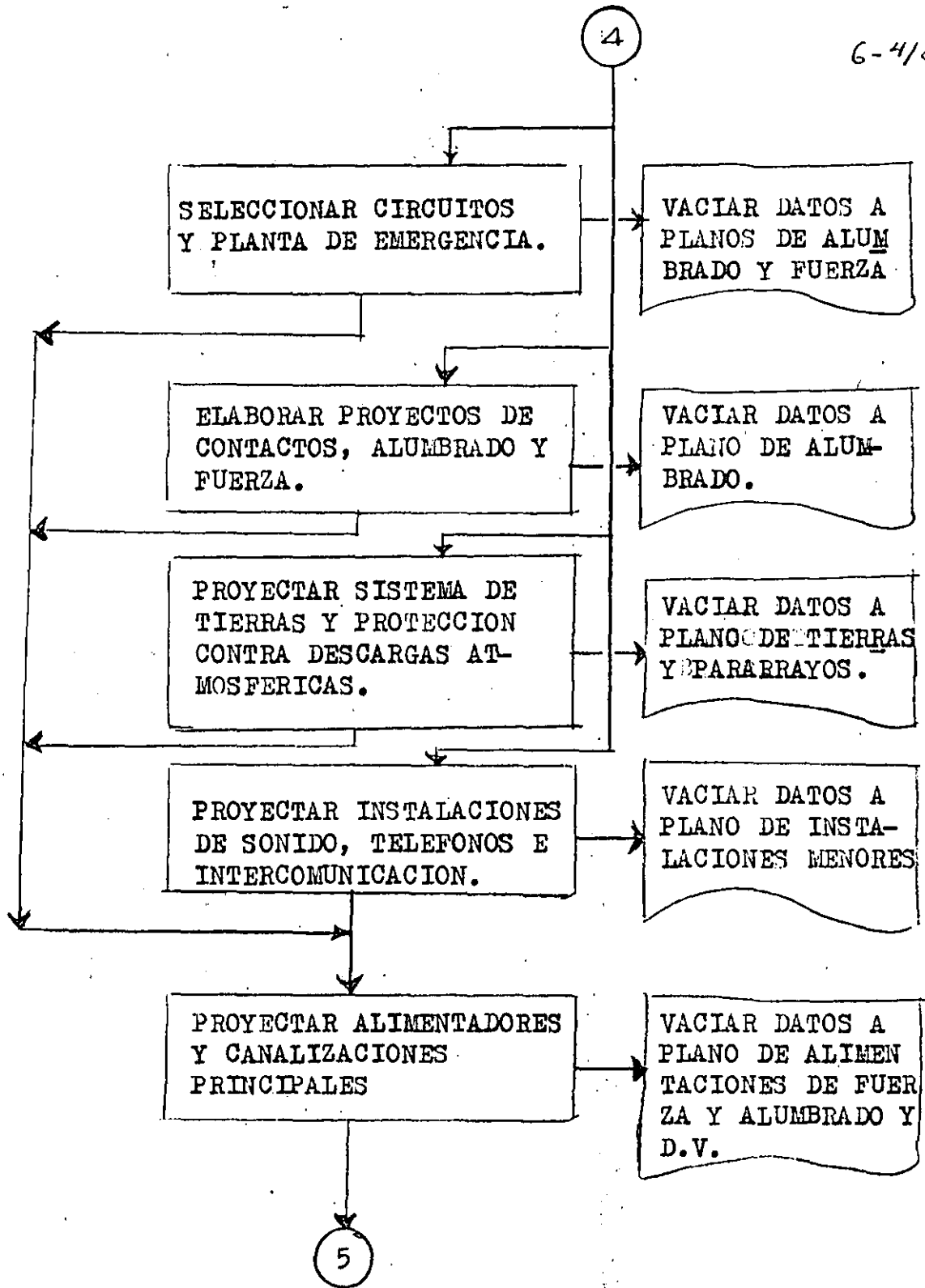


ALTA PRIORIDAD DE CONTINUIDAD DE SERVICIO INDEPENDIENTES DE LAS CONSIDERADAS COMO CARGAS DE SERVICIO NORMAL. 5

AREAS PELIGROSAS.- POR SUS CARACTERISTICAS REQUIEREN - DE EQUIPO E INSTALACIONES ESPECIALES E INDEPENDIENTES.





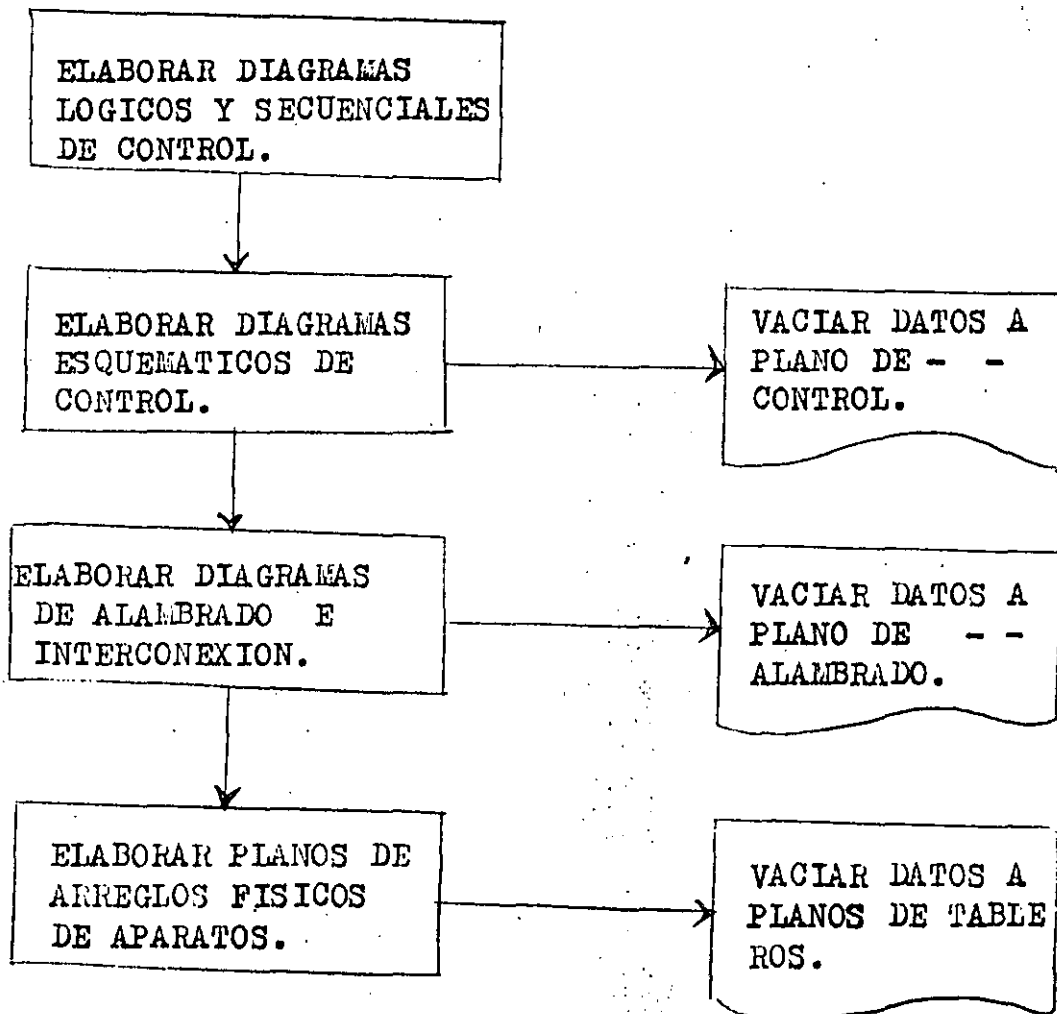


5

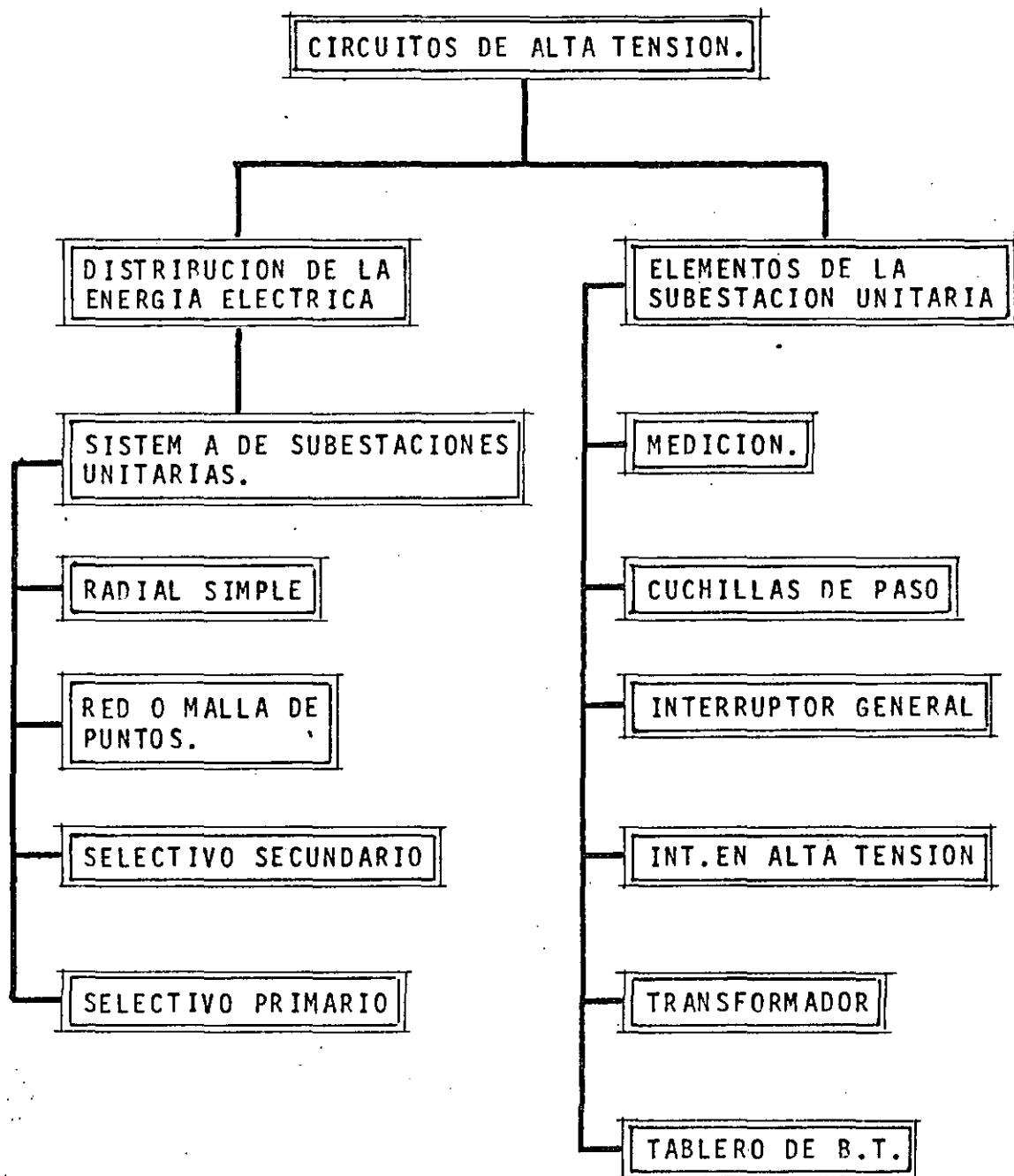
ELABORAR LISTA DETALLADA DE EQUIPO Y MATERIALES Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE ALUMBRADO, FUERZA, CONTROL Y PROTECCION.

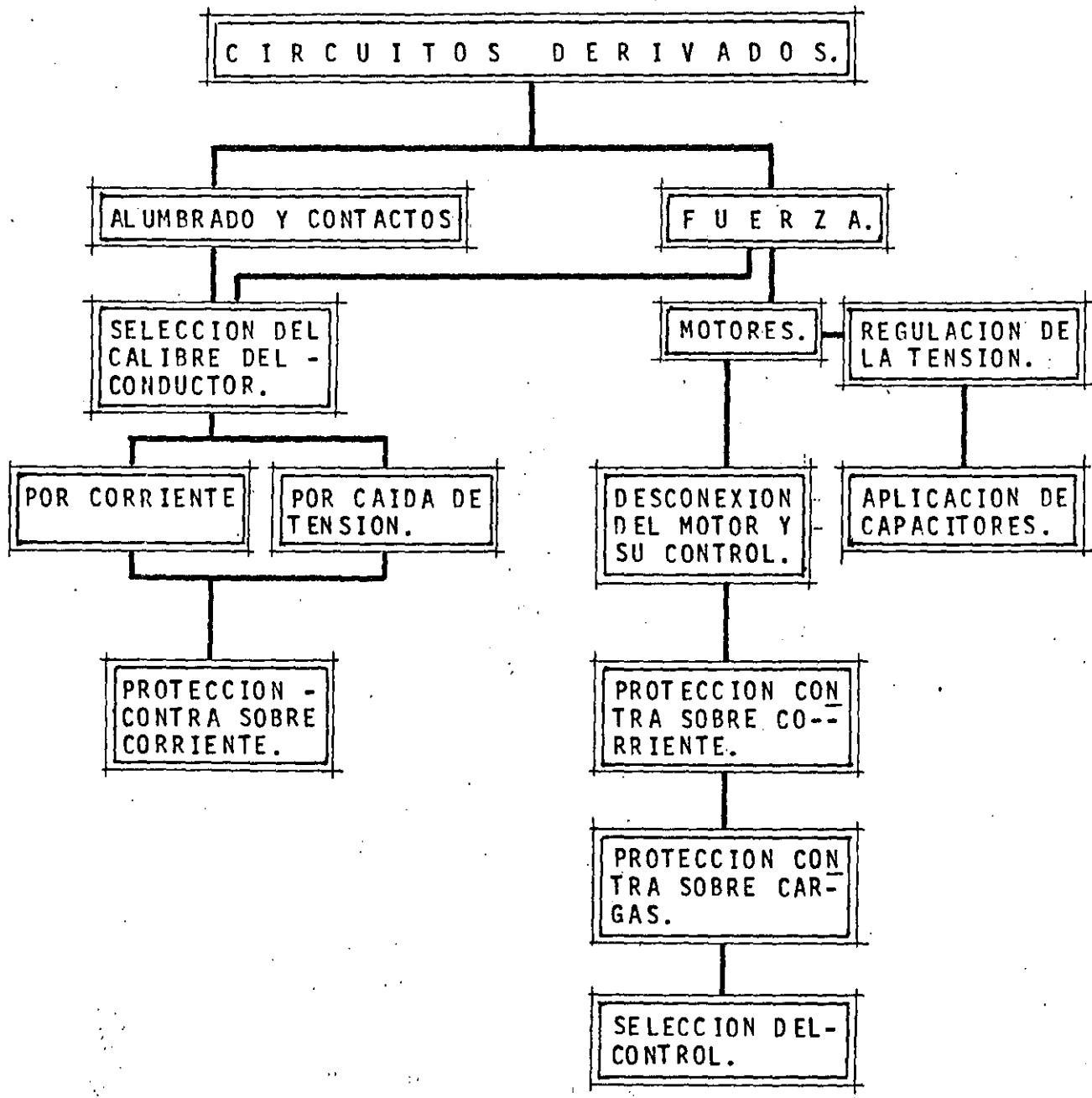
6-5/9

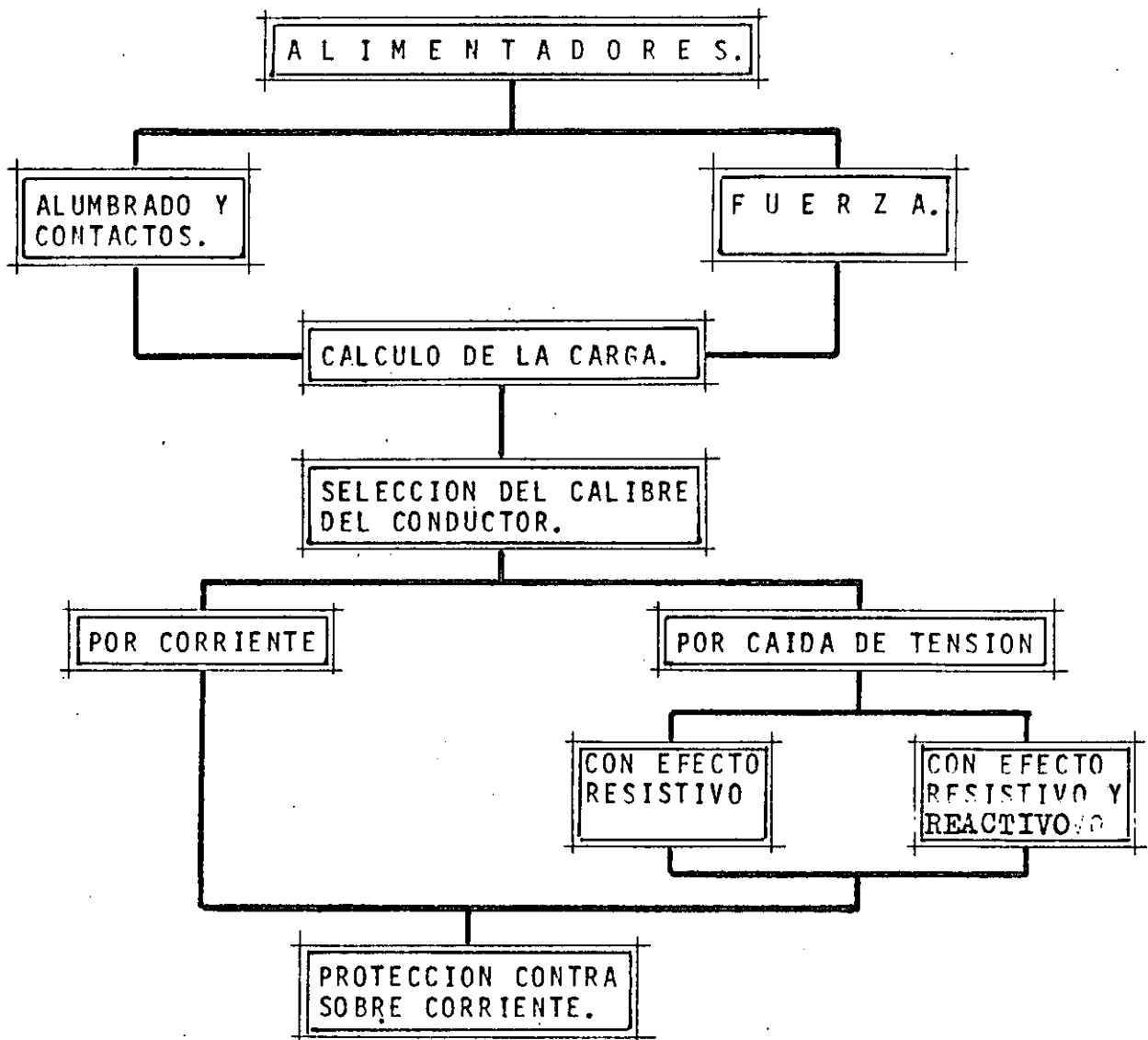
ESTIMAR EL COSTO DE LAS INSTALACIONES.

CIRCUITOS DE CONTROL









## ANALISIS COMPARATIVO DE INTERRUPTORES Y FUSIBLES.

## INTERRUPTORES

## FUSIBLES.

- |   |   |
|---|---|
| 1.- Capacidad para cerrar con seguridad cualquier corriente de carga o circuito corto -- dentro de su capacidad momentánea. | Requiere el uso de un desconectador con carga y fusibles.                               |
| 2.- Capacidad para abrir con seguridad cualquier corriente hasta su capacidad interruptiva.                                 | Idem anterior.  |
| 3.- Interrumpe automáticamente el flujo de corrientes anormales hasta su capacidad interruptiva.                            | Lo cumple con mayores tolerancias.  |
| 4.- Elimina operación monofásica.   | No se cumple en algunos equipos   |
| 5.- Protecciones ajustables.  | Protección fija.  |
| 6.- Operación eléctrica.- Para control automático, control remoto, circuitos auxiliares                                     | No lo cumple.   |
| 7.- Amplia selección de características tiempo-corriente.   | Uso restringido.  |
| 8.- Repetición de operaciones -- sin destruir el elemento interruptor.  | Se destruye el elemento interruptor.  |
| 9.- Mismo grado de protección -- después de operar.   | Puede cambiarse.  |
| 10.- Mínimo efecto de la temperatura ambiente.  | Depende de las condiciones térmicas para activarse.                                     |
| 11.- Velocidad de operación moderada.- Facilita la coordinación de protecciones.  | La mayoría de los fusibles operan con rapidez; recomendables para circuitos derivados.  |
| 12.- Amplios rangos de corriente.   | Capacidades limitadas por consideraciones térmicas. Los fusibles requieren ventilación. |

## INTERRUPTORES

13.- Mecánicamente complicados

14.- Son costosos.

## FUSIBLES.

Son más simples mecánicamente.

Bajo costo.

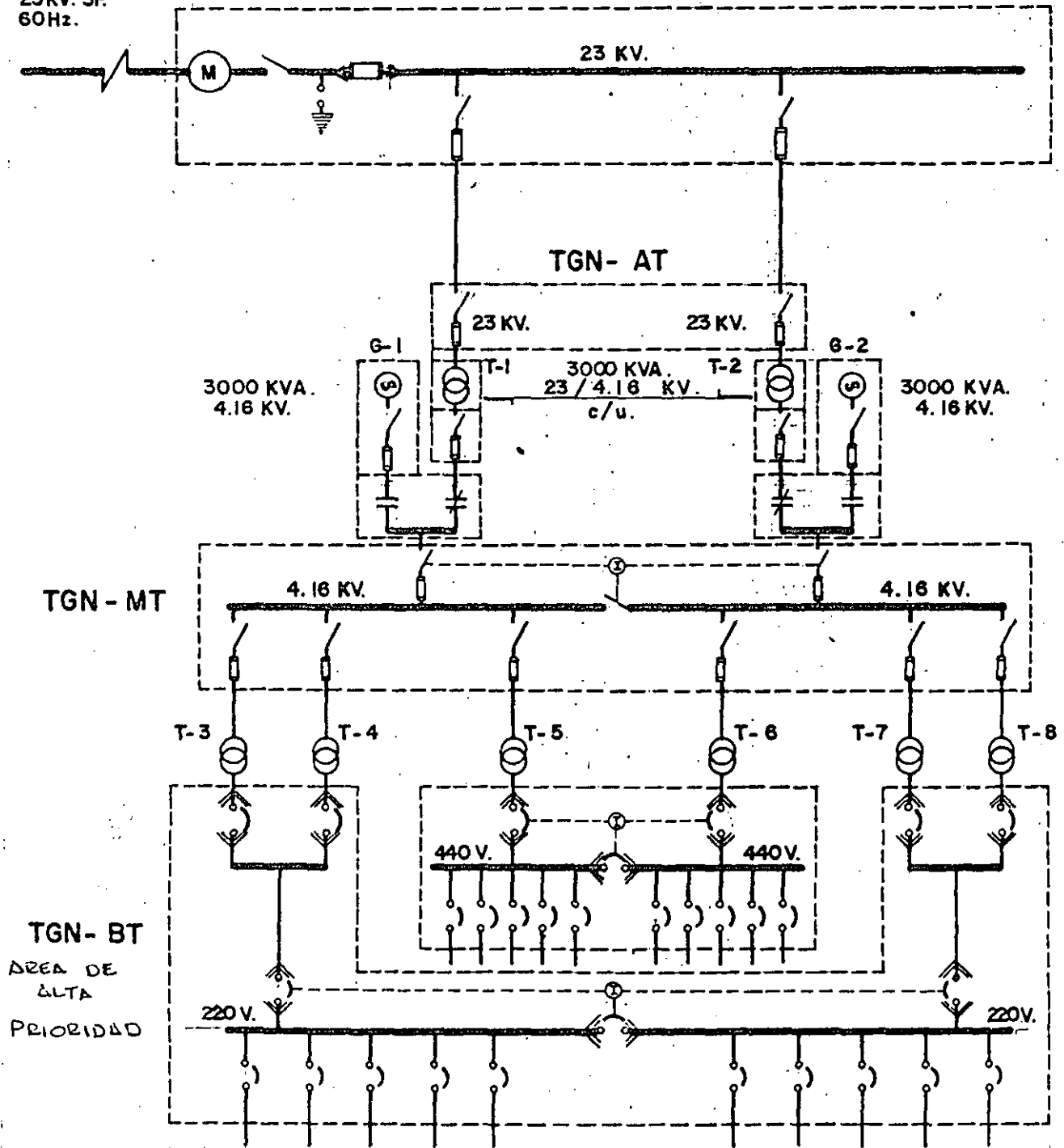
## 2.2.- EJEMPLO

ANALISIS TECNICO ECONOMICO  
A NIVEL DE ANTEPROYECTO.

2.2.1 Proyecto Original.

a) Diagrama Unifilar.

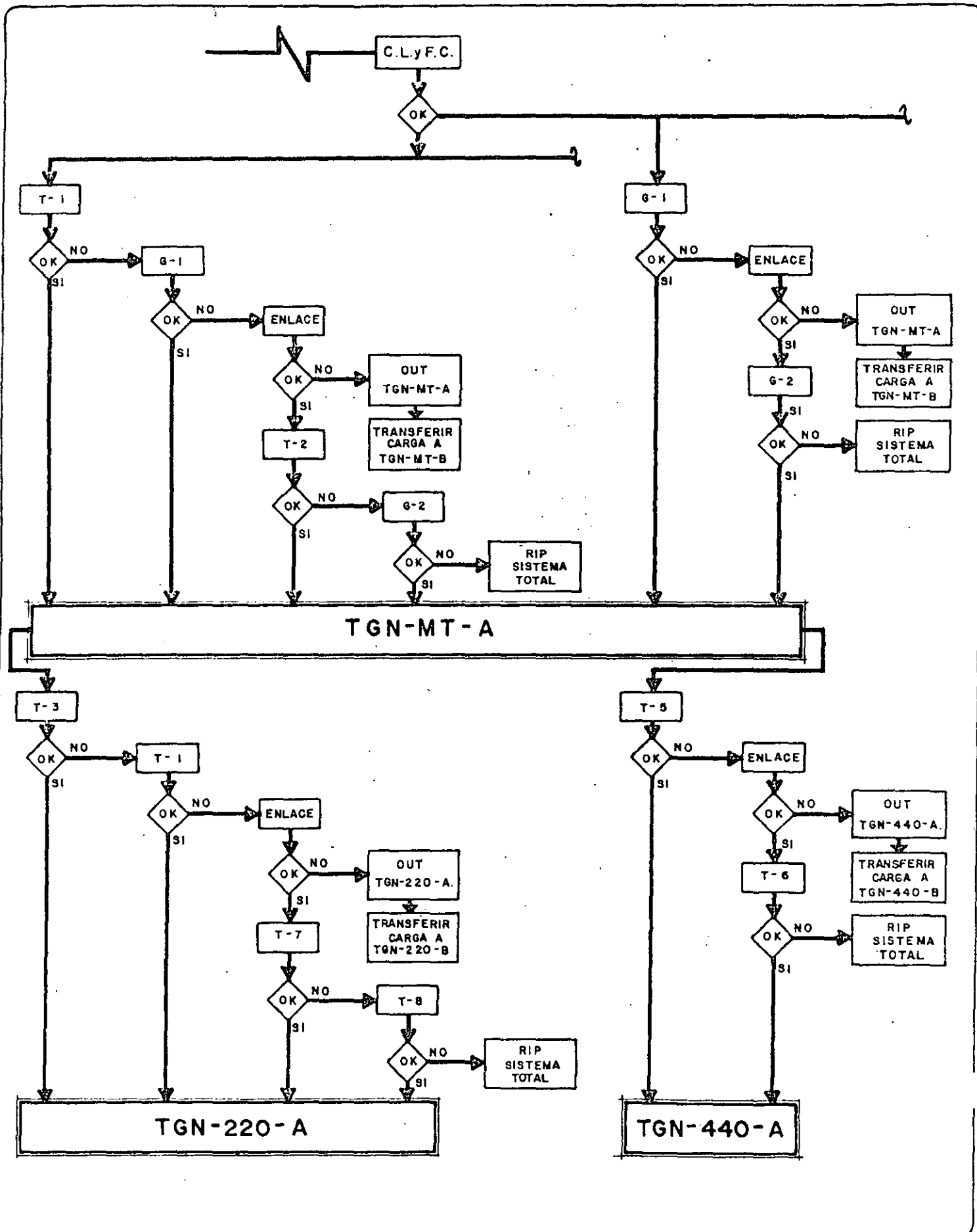
CL y FC  
23KV. 3F.  
60Hz.



TRANSFORMADORES T-3 al T-8 , SON DE 1500 KVA.

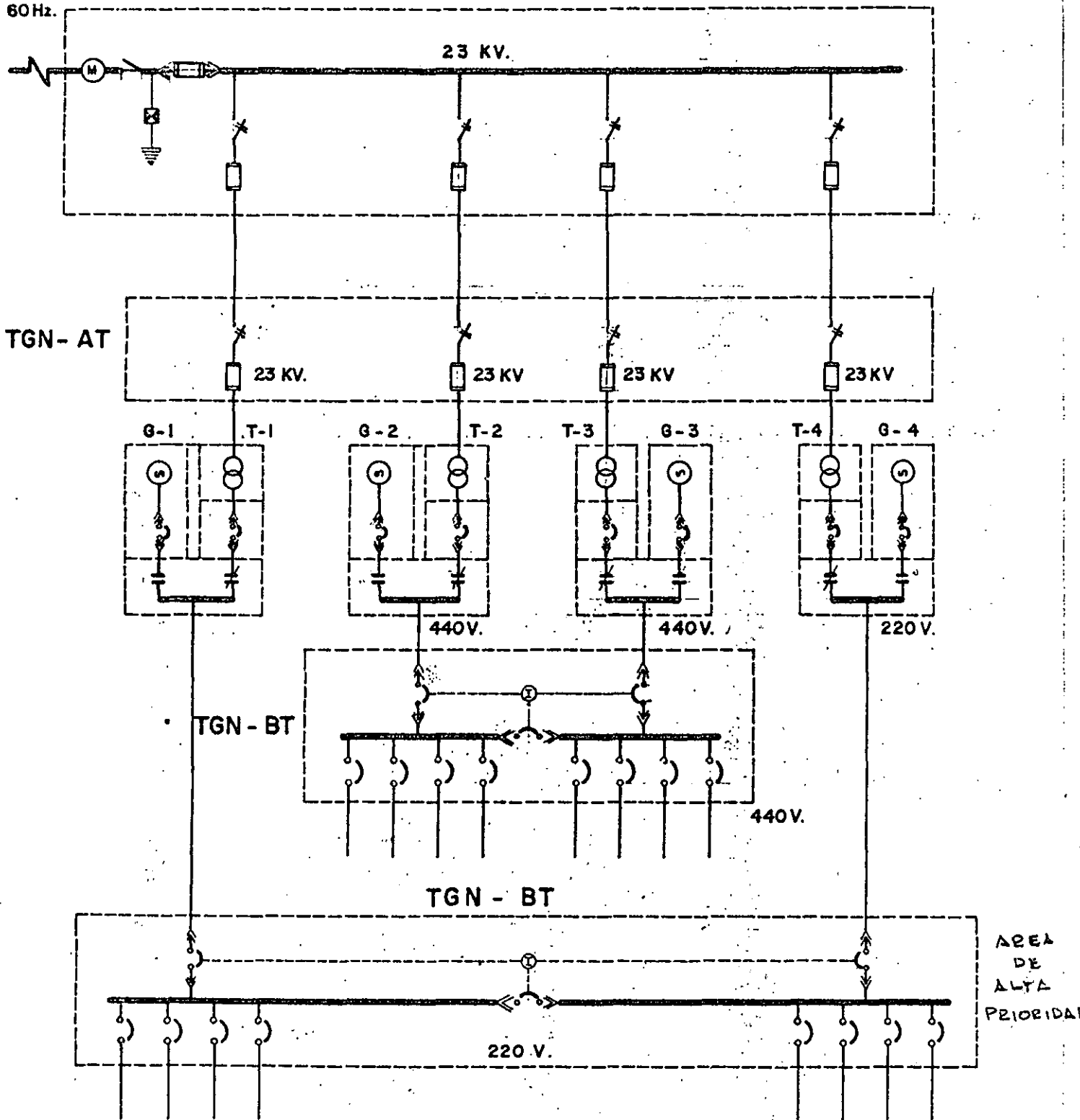
2.2.1. Proyecto Original.

b) Diagrama de Secuencia de Fallas.



2.2.2 Alternativa.  
a) Diagrama Unifilar.

CL y FC  
23KV: 3F.  
60Hz.

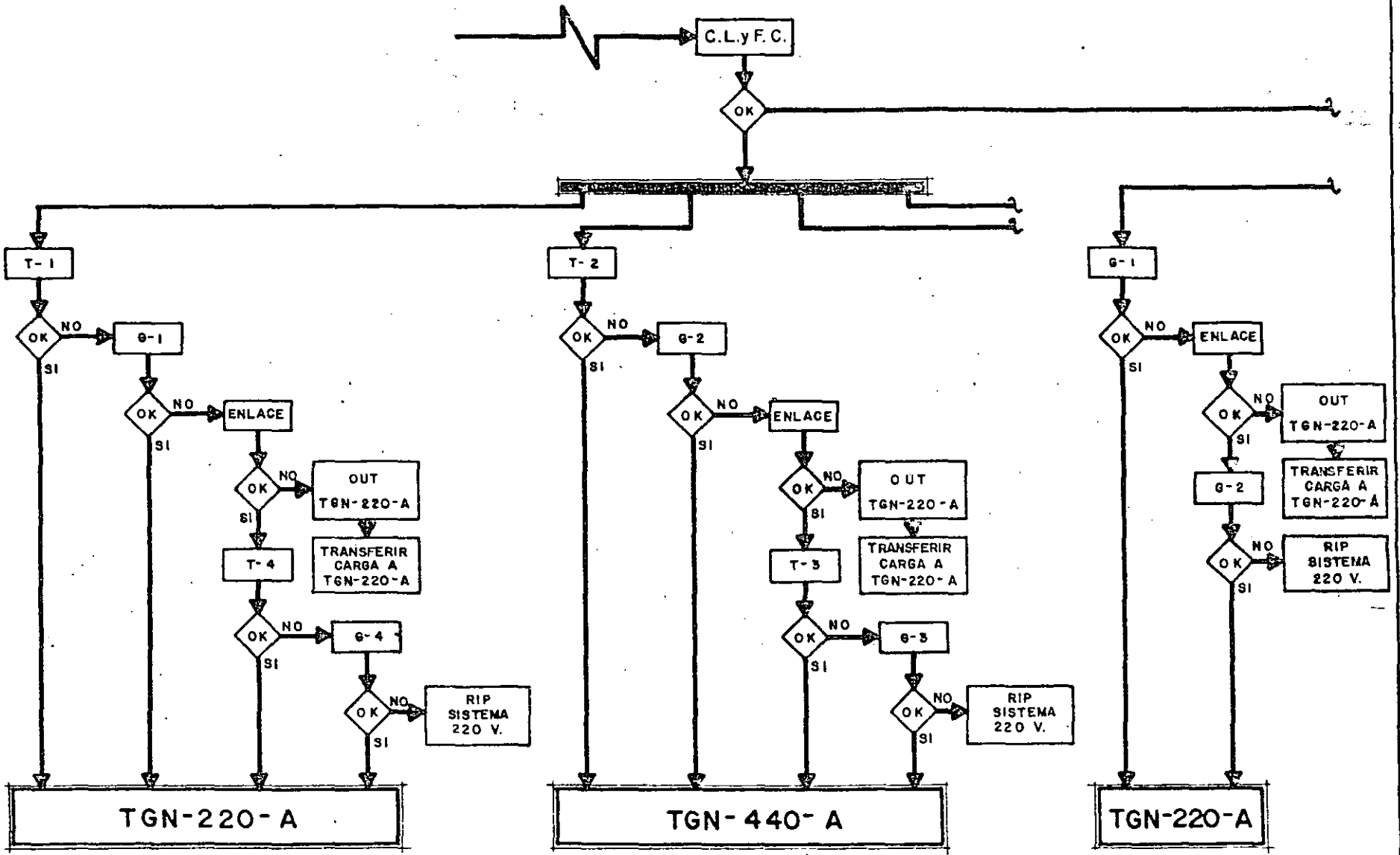


TRANSFORMADORES DE 1500 KVA. c/u.

GENERADORES DE 1500 KVA. c/u.



b) Diagrama de Secuencia de Fallas.



2.2.3 Análisis Comparativo.

2.2.3.1 ANALISIS TECNICO.

a) CONFIABILIDAD.- Continuidad en el servicio.

EQUIPOS	IMPOR- TANCIA	O R I G I N A L			A L T E R N A T I V A		
		CANTI- DAD	CALIFI- CACION %	TO- TAL	CANTI- DAD	CALIFI- CACION %	TOTAL
TRANSFORMADORES	40	8 (15MVA)	50	20	4 (6MVA)	100	40
PROTECCIONES Y TRANSFERENCIAS 23 KV		4	50	15	8	100	30
4.16 KV	30	11			No hay		
Transferencia		2 (4.16KV)			4 (BT)		
PLANTAS DE EMERGENCIA	25	2 (6 MVA)	100	25	4 (6MVA)	50	125
ALIMENTACIONES 23 KV.	5	2	100	5	4	50	2.5
T O T A L	100			65			85

2.2.3 Análisis Comparativo.

b) SEGURIDAD

EQUIPO	IMPOR- TANCIA	ORIGINAL		ALTERNATIVA	
		CALIFI- CACION %	TOTAL	CALIFI- CACION %	TOTAL
SISTEMA DE TIERRAS	30	85	25.5	70	21.0
TABLEROS BLINDADOS	10	0	0	30	3
EQUIPOS DE ALTA TENSION	10	100	10.0	50	5
OPERACION	50	50	25.0	100	50
T O T A L	100		60.5		79

2.2.3 Análisis Comparativo

c) SIMPLICIDAD

EQUIPO	IMPOR- TANCIA	ORIGINAL		ALTERNATIVA	
		CALIFI CACION %	TOTAL	CALIFI CACION %	TOTAL
<u>OPERACION</u>					
TRANSFORMADORES PLANTAS DE EMERGENCIA PROTECCIONES LINEAS DE ALIMENTACION	60	60	36	100	60
<u>MANTENIMIENTO</u>					
TRANSFORMADORES PLANTAS DE EMERGENCIA PROTECCIONES LINEAS DE ALIMENTACION	40	60	24	50	20
TOTAL	100		60		80

2.2.3 Análisis Comparativo

d) FLEXIBILIDAD

EQUIPOS	IMPOR- TANCIA	ORIGINAL		ALTERNATIVA	
		CALIFI- CACION	TOTAL	CALIFI- CACION	TOTAL
<u>OPERACION</u> TRANSFORMADORES PLANTAS DE EMERGENCIA PROTECCIONES LINEAS DE ALIMENTACION	60	100	60	100	60
<u>MANTENIMIENTO</u> TRANSFORMADORES PLANTA DE EMERGENCIA PROTECCIONES LINEAS DE ALIMENTACIONES	30	50	15	100	30
<u>AMPLIACIONES</u> MODIFICACIONES CARGA FUTURA	10	100	10	100	10
T O T A L	100	-	85	-	100

2.2.3 Análisis Comparativo.

2.2.3.2 ANALISIS ECONOMICO.- Estimación de precio de Equipo \*

	ANTEPROYECTO ORIGINAL	ALTERNATIVA
TRANSFORMADORES	35	22
EQUIPO DE ALTA TENSION 23 KV	15	7
EQUIPO DE MEDIA TENSION 4.16 KV	29	-
EQUIPOS DE BAJA TENSION	<u>40</u>	<u>37</u>
SUBTOTAL	119	66
PLANTAS DE EMERGENCIA	<u>482</u>	<u>527</u>
T O T A L	601	593

\* MILLONES DE PESOS.

EVALUACION		ANTE PROYECTO ORIGINAL.		ALTERNATIVA.	
EQUIPO	IMPORTANCIA	CALIFICACION TOTAL		CALIFICACION	TOTAL
		%		%	
VARIOS	100	98	98	100	100

## 2.2.3 Análisis Comparativo

### 2.2.3.3 RESUMEN

CONCEPTO	IMPOR- TANCIA	ORIGINAL		ALTERNATIVA	
		CALIFI- CACION %	TOTAL	CALIFI- CACION %	TOTAL
CONFIABILIDAD	35	65	23	85	30
ECONOMICO	20	98	19	100	20
SEGURIDAD	20	61	12	79	16
SIMPLICIDAD	15	60	9	80	12
FLEXIBILIDAD	10	85	9	100	10
TOTAL	100		72		88

#### 2.2.4 Conclusiones

Acorde a la importancia y a la experiencia, los análisis cualitativo y cuantitativo de los factores y/o -- características del sistema eléctrico indicados, concluimos -- y recomendamos la transformación directa de 23000V a 440/220V. sin tensión intermedia.



### 3.- PROYECTO DEFINITIVO.

- 3.1 DIAGRAMA UNIFILAR
- 3.2 CORRIENTES DE FALLA
- 3.3 SELECCION DE EQUIPO DE PROTECCION
  - . ESPECIFICACIONES
  - . COMPRA
- 3.4 SISTEMA DE TIERRAS
- 3.5 ALUMBRADO Y CONTACTOS.
- 3.6 DISTRIBUCION DE FUERZA.
- 3.7 SISTEMA DE DISTRIBUCION SECUNDARIA
- 3.8 SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIA.
- 3.9 PLANTAS DE EMERGENCIA.
- 3.10 COORDINACION DE PROTECCIONES.
- 3.11 CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.
- 3.12 PARARRAYOS.
- 3.13 INTALACIONES MENORES.
  - . TELEFONOS
  - . SONIDO
  - . INTERCOMUNICACION
  - . TV EN CIRCUITO CERRADO
  - . ALARMAS
  - . RELOJES
  - . ETC.

#### 4.- ESPECIFICACIONES.

- . Elaborar especificaciones tipo.
- . Ejemplo de Transformador.

#### 5.- MEMORIA DE CALCULO.

- . Elaborar cálculos tipo.
  - a) Cálculo de Iluminación.
  - b) Cálculo de Centro de Carga.
  - c) Cálculo de Alimentador, Alumbrado y Fuerza.

#### 6.- PLANOS.

- 6.1 Ejemplo de:
  - a) Diagrama Unifilar
  - b) Distribución de fuerza.
  - c) Alimentadores de alumbrado.
  - d) Alumbrado y contactos.
- 6.2 Información necesaria en planos.

#### 7.- RELACION DE EQUIPO Y MATERIALES Y ESTIMACION DEL COSTO.

- a) Ejemplo de lista de equipo.

## 5.- MEMORIA DE CALCULO.

## a).- CALCULO DE ILUMINACION.- METODO DEL LUMEN.

DEPARTAMENTO	Nivel de Ilum.	Unidad Holophone Cat. No.	DIMENSIONES (m)				AREA m <sup>2</sup>	I.C.	C.U.	F.M.	Lumens en Servicio	NUMERO DE UNIDADES					Puntos
			L	A	H	H <sub>m</sub>						75W	100W	150W	200W	300W	
Calib. e Inyectores.	200	684-AL	18.75	12.00	4.40	4.40	225.00	E.	0.61	0.85	87,000			26.		24	
Lavado de Piezas.	150	02480	12.00	6.25	4.40	4.40	75.00	H.	0.49	0.80	28,700			8.7		8	
Lavado de Filtros.	150	684-AL	12.00	6.25	4.40	4.40	75.00	H.	0.53	0.85	25,000			7.6		8	
Cobrería	150	684-AL	12.00	6.25	4.40	4.40	75.00	H.	0.53	0.85	25,000			7.6		8	
Depto. de Aire.	150	684-AL	12.00	6.25	4.40	4.40	75.00	H.	0.53	0.85	25,000			7.6		8	
Cuarto de Herramienta.	100	684-AL	12.00	4.25	4.40	4.40	51.00	I.	0.49	0.85	12,300			3.7		4	
Oficina Almaceniata.	175	S-5540	10.00	6.00	4.40	3.30	50.00	G.	0.49	0.80	26,700			5.3		6	
Oficina Mayordomo.	175	S-5540	6.00	5.00	4.40	3.30	30.00	H.	0.45	0.80	14,600			4.4		4	
Supte. Almacén.	100	615	15.50	12.00	4.40	3.50	186.00	D.	0.65	0.85	31,700		14.0			18	
Pallería.	150	684-AL	12.00	5.00	4.40	4.40	60.00	J.	0.49	0.85	21,600			4.2		4	
Carpintería y Pintura.	150	684-AL	6.00	5.00	4.40	4.40	30.00	I.	0.49	0.85	10,800			2.2		2	
Baterías.	150	684-AL	12.50	12.00	4.40	4.40	150.00	F.	0.58	0.85	45,700			9.1		10	
Equipo en Inspección.	200	685-AL	6.00	5.00	4.40	3.50	30.00	H.	0.53	0.85	13,400				1.5	2	
Taller Eléctrico.	200	684-AL	16.00	10.00	4.40	4.40	160.00	F.	0.58	0.85	65,000			12.8		15	
Oficina de Control.	175	S-5540	10.00	6.00	4.40	3.30	60.00	G.	0.49	0.80	26,700			5.3		6	
Instrumentos Eléctricos	100	620	6.00	5.00	4.40	3.50	30.00	H.	0.51	0.80	7,350			2.2		2	
Regaderas.	50	02470	6.00	5.00	4.40	3.50	30.00	H.	0.56	0.80	3,150	2.2				2	
W.C. Lavabos, Hingitorios	50	615	12.00	5.00	4.40	3.50	60.00	G.	0.57	0.80	6,590		2.8			3	
W. C. y Baños.	50	615	3.25	1.75	3.00	3.00	9.75	J.	0.40	0.80	1,520	1.0				1	
Ofna. M. Mecánico	175	S-5540	6.50	6.00	4.40	3.30	39.00	H.	0.45	0.80	19,000			3.8		4	
Ofna. Ing. Mecánico	175	S-5540	6.50	6.00	4.40	3.30	39.00	H.	0.45	0.80	19,000			3.8		4	
Empleados.	100	615	6.50	6.00	4.40	3.55	39.00	H.	0.55	0.80	9,550		4.0			4	
Pasillo. N-3	50	615	52.00	4.00	4.40	5.50	208.00	F.	0.57	0.80	22,800			9.5		10	
Pasillo E-0	50	615	12.00	4.00	4.40	3.50	48.00	F.	0.57	0.80	5,300			2.2		3	

Tabla No. 3

5.- MEMORIA DE CALCULO.

b1) - CALCULO DEL CENTRO DE CARGA

MOTOR Nº	H P	EJE X X'				EJE Y Y'			
		Signo	Bzo. de Pol.	Mom. (+)	Mom. (-)	Signo	Bzo. de Pol.	Mom. (+)	Mom. (-)
1	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
2	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
3	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
4	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
5	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
6	3	+	13.0	39.0		+	150.0	450.0	
7	15	+	13.0	195.0		+	150.0	2,250.0	
8	75	-	6.0		450.0	+	130.0	9,750.0	
9	1	+	10.5	10.5		+	49.0	49.0	
10	2	+	8.8	17.6		+	49.0	98.0	
11	3	+	6.6	19.8		+	49.0	147.0	
12	4	+	5.2	20.8		+	49.0	196.0	
13	3	+	2.5	7.5		+	49.0	147.0	
14	7.1	+	1.4	10.0		+	41.0	291.1	
15	1/2	+	5.8	2.9		+	43.8	21.9	
16	1/16		0	-		+	34.3	2.1	
17	5	+	2.0	10.0		+	36.0	180.0	
18	5	+	4.0	20.0		+	26.2	131.0	
19	5	+	1.0	5.0		+	29.0	145.0	
20	1/2	+	6.3	3.2		+	28.0	14.0	
21	1/4		0	-		+	27.2	6.8	
22	11/2	+	1.5	2.3		+	23.0	30.5	
23	1	+	1.5	1.5		+	23.0	23.0	
24	11/2	+	1.5	2.3		+	23.0	30.5	
25	1	+	1.5	1.5		+	23.0	23.0	
26	5	+	10.8	54.0		-	21.8		109.0.
27	30	+	11.0	330.0		-	37.3		1119.0
28	18.24KW			-	-		-	-	-
29	0.75KW			-	-		-	-	-
30	1/3	+	10.4	3.47		-	50.0		16.7
31	1	-	2.5		2.5	-	49.0		49.0
32	0.9	-	4.5		4.1	-	49.0		44.1
33	1/4	-	9.4		2.4	-	49.5		12.4
34	80w		-	-	-		-	-	-
35	3	+	17.0	51.0		+	4.0	12.0	
36	3	+	24.0	72.0		+	4.0	12.0	
37	3	+	33.0	99.0		+	4.0	12.0	
38	3	+	44.0	132.0		+	4.0	12.0	
39	1/2	+	20.4	10.2			-	-	-
40	1	+	20.4	20.4			-	-	-
41	2	+	20.4	40.8			-	-	-
42	1/2	+	35.6	17.8			-	-	-
43	1	+	35.6	35.6			-	-	-
44	2	+	35.6	71.2			-	-	-
45	1/4	+	62.6	15.7		+	47.6	11.9	
46	15	+	63.0	945.0			0		
47	1/4	+	63.00	15.7			0		
48	1	+	64.0	64.0		+	47.0	47.0	

## 5.- MEMORIA DE CALCULO.

## b2) CALCULO DEL CENTRO DE CARGA

MOTOR Nº	HP	EJE X X'				EJE Y Y'			
		Signo	Ezo. de Pol.	Momento (+)	Mom. (-)	Signo	Ezo. de Pol.	Momento (+)	Momento (-)
49	1	+	64.0	64.0		+	40.9	40.9	
50	1	+	64.0	64.0		+	34.7	34.7	
51	1/2	+	64.0	37.0		+	28.4	14.2	
52	1/2	+	64.0	32.0		+	15.8	7.9	
53	1/2	+	64.0	32.0		+	3.5	1.8	
54	1	+	62.0	186.0		-	5.0		15.0
55	1/4	+	62.0	15.5		-	5.0		1.1
56	71/2	+	64.5	483.8		+	4.5	33.8	
57	71/2	+	64.0	480.0		-	8.5		63.8
58	1/2	+	64.0	32.0		-	15.7		7.9
59	2	+	64.0	128.0		-	22.0		44.0
60	1/2	+	75.0	37.5		-	37.6		18.8
61	30	+	55.0	1,650.0				-	-
62	15	+	55.0	825.0				-	-
63	20	+	55.0	1,100.0				-	-
64	5	+	55.0	275.0				-	-
65	3/4	+	56.5	42.4		-	30.7		23.0
66	30	+	56.5	1,695.0		-	30.7		921.0
67	1/2	+	72.0	36.0		-	30.7		15.4
68	3	+	9.5	28.5		-	68.5		205.5
69	11/2	+	9.5	14.3		-	62.5		93.8
70	1/4	+	10.0	2.5		-	62.5		15.7
71	2	+	9.0	18.0		-	71.0		142.0
72	2	+	11.5	23.0		-	71.0		142.0
73	71/2	+	9.0	67.5		-	74.00		555.0
74	71/2	+	11.5	86.3		-	74.0		555.0
75	11/2	+	13.4	20.1		-	45.0		67.5
76	1/2	+	13.4	6.7		+	4.0	2.0	
77	1/2	+	15.3	7.7		-	104.0		52.0
78	1/2	+	15.3	7.7		-	104.0		52.0
		+		10,034.37	459.00	+		16,478.14	4,340.9
	375.21	+	25.5	9,575.37		+	32.4	12,137.24	
A	31.5X4	+	45.0	1,417.5		-	28.10		885.1
B	31.5	+	45.0	1,417.5		+	28.10	885.15	
C	28.9	+	28.5	823.7		-	24.80		716.7
D	28.9	+	28.5	823.7		+	24.80	716.7	
E	28.9	+	0	0		-	28.80		832.3
F	17.0	+	13.0	221.0		+	24.50	416.5	
G	19.15	+	12.0	229.8		+	1.80	34.5	
a	8.4	+	45.0	370.0		-	28.10		236.0
b	9.3	+	45.0	418.5		+	28.10	261.3	
c	27.8	+	28.5	792.3		-	24.80		689.4
d	26.4	+	28.5	752.4		+	24.80	654.7	
e	13.2	+	0	0		-	28.80		380.2
f	7.85	+	5.5	43.2		+	25.10	197.0	
		+		7,309.60		+		3,165.85	3,748.7
	278.80	+	26.2	7,309.60		-	2.1		582.9



## C2)- DISTRIBUCION GENERAL

F U E R Z A													
ALIM. Nº	125 [w	I Σ <sub>m</sub>	F.D.	I <sub>r</sub>	COND. Nº	L(m)	r(Ω/Km)	r'Ω	κ(Ω/Km)	κ'Ω	T.Cond. mm.	e <sub>f</sub>	e <sub>%</sub>
F 1	49.80	53.52	1.00	103.32	4/0	190	0.1608	30.6x10 <sup>-3</sup>	0.1275	24.2x10 <sup>-3</sup>	64	6.98	3.17
F 2	223.00		1.00	223.00	500 MCM	160	0.0680	10.9x10 <sup>-3</sup>	0.1150	18.4x10 <sup>-3</sup>	75	8.21	3.73
F 3	37.50	55.34	0.75	79.00	2	60	0.5127	35.8x10 <sup>-3</sup>			31	4.90	2.23
F 4	18.70	51.60	0.75	57.40	6	26	1.2960	33.3x10 <sup>-3</sup>			25	3.35	1.52
F 4	18.70	36.00	0.80	47.50	6	20	1.2960	25.9x10 <sup>-3</sup>			25	2.13	0.97
F 5	91.80		1.00	91.80	2	85	0.5127	43.5x10 <sup>-3</sup>			31	6.90	3.13
F 6	4.37	7.80	1.00	12.17	8	106	2.0610	218.0x10 <sup>-3</sup>			19	4.66	2.13
F 6	11.45	52.25	0.50	37.57	8	20	2.0610	41.2x10 <sup>-3</sup>			19	2.52	1.15
F 7	50.00	20.50	0.75	65.38	4	55	0.8152	44.8x10 <sup>-3</sup>			31	5.07	2.30
F 8	25.40	35.92	0.75	55.04	4	78	0.8152	63.7x10 <sup>-3</sup>			31	6.05	2.74
F 9	96.20	106.00	0.50	149.20	3/0	35	0.2028	7.1x10 <sup>-3</sup>			51	1.83	0.83
F 10	96.50	3.90	1.00	100.40	1/0	75	0.3224	24.2x10 <sup>-3</sup>			51	4.19	1.90
F 11	23.70	58.50	0.70	64.65	2	115	0.5127	59.0x10 <sup>-3</sup>			31	6.60	3.00
F 12	65.00		1.00	65.00	2	130	0.5127	61.8x10 <sup>-3</sup>			31	7.51	3.42
F 13	65.00		1.00	65.00	4	85	0.8152	69.2x10 <sup>-3</sup>			31	7.80	3.55
D. S.	65.00		1.00	65.00	4						31		

FECHA : \_\_\_\_\_  
 OBRA : \_\_\_\_\_

TABLERO: \_\_\_\_\_

LOCALIZADO EN : \_\_\_\_\_  
 ALIMENTADO DE : \_\_\_\_\_

A \_\_\_\_\_ m. de longitud \_\_\_\_\_ F, \_\_\_\_\_ H, \_\_\_\_\_ V \_\_\_\_\_ caída de tensión.

CORRIENTE DE REGIMEN

CARGA CONECTADA \_\_\_\_\_ X FACTOR \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Demanda máxima.

Motor Mayor.	_____	A X 1.25	=	_____	A
Suma otros motores.	_____	A X _____ demanda	=	_____	A
Reserva.	_____	A X 1	=	_____	A
T o t a l.	_____	A	=	_____	A= I <sub>c</sub>

PROTECCION

Protección del Motor Mayor.	_____	A	
Suma otros motores.	_____	A	(demanda)
Reserva.	_____	A	
T o t a l.	_____	A	

INTERRUPTOR PRINCIPAL \_\_\_\_\_ A

CALCULO DEL ALIMENTADOR.

A).- POR DENSIDAD DE CORRIENTE:

. CORRECCION POR AGRUPAMIENTO Y TEMPERATURA.

. FACTOR DE AGRUPAMIENTO. FA= \_\_\_\_\_

. FACTOR DE TEMPERATURA. FT= \_\_\_\_\_

. CORRIENTE EQUIVALENTE.  $= I' = \frac{I}{FA \cdot FT} = \underline{\hspace{2cm}} = A$

. CONDUCTOR POR DENSIDAD DE CORRIENTE: \_\_\_\_\_ AWG.

AISLAMIENTO THW QUE TIENE UNA CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE DE \_\_\_\_\_ A (PARA \_\_\_\_\_ A \_\_\_\_\_ CONDUCTORES).



B).- POR CAIDA DE VOLTAJE POR RESISTENCIA.

. EN CIRCUITO DERIVADO.	_____	%	MAXIMO	_____	%
. EN SUBALIMENTADOR.	_____	%			
. EN SUBALIMENTADOR.	_____	%	MAXIMO	_____	%
. EN ALIMENTADOR.	_____	%			
T O T A L.	_____	%	MAXIMO	_____	%

CALCULO DE LA SECCION POR CAIDA DE TENSION ( \_\_\_\_\_ % ).

$$S = \frac{LI}{E \cdot e\%} = \text{_____} = \text{mm}^2 = \text{_____}$$

$$e\% = \frac{LI}{E \cdot S} = \text{_____} = \text{_____} \%$$

CONDUCTOR ESCOGIDO \_\_\_\_\_ AWG.

. POR DENSIDAD DE CORRIENTE \_\_\_\_\_ AWG.

. POR CAIDA DE VOLTAJE. \_\_\_\_\_ AWG.

ALIMENTADOR.

. CONDUCTORES.

C).- .POR CAIDA DE VOLTAJE POR REACTANCIA.

. DE TABLAS  $Z =$  \_\_\_\_\_  $\Omega/m$

.CAIDA DE TENSION POR REACTANCIA.

.  $e\% =$  \_\_\_\_\_  $\times 100$

.  $e\% =$  \_\_\_\_\_  $\times 100 =$  \_\_\_\_\_  $\%$

. SI NO ESTA DENTRO DE LA CAIDA MAXIMA PERMISIBLE.

. CONDUCTOR POR CONSIDERARSE \_\_\_\_\_

. DE TABLAS (KNOLWTON)  $Z =$  \_\_\_\_\_  $\Omega/m$ .

.CAIDA DE TENSION POR REACTANCIA.

.  $e\% =$  \_\_\_\_\_  $\times 100 =$  \_\_\_\_\_  $\%$

.SELECCION DEL CONDUCTOR

A).- POR DENSIDAD DE CORRIENTE

B).- POR RESISTENCIA

C).- POR REACTANCIA

CONDUCTORES

CANALIZACION

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 6.2 INFORMACION NECESARIA EN PLANOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES.

P L A N O.	SIMBOLOGIA	VISTA PLANTA	CORTES	CUADRO CARGAS	CROQUIS LOCALIZ.	DETALLES	INDIC. REVIS.	PLANOS RELAC.
DIAGRAMA UNIFILAR	X					X	X	X
ALUMBRADO Y CONTACTOS	X	X	X	X	X	X (1)	X	X
DISTRIBUCION DE FUERZA	X	X	X	X	X	X	X	X
SISTEMAS DE DISTRIBUCION	X	X				X	X	X
PLANTA DE EMERGENCIA	X	X	X		X	X	X	X
SUBESTACION ELECTRICA	X	X	X		X		X	X
SISTEMAS DE TIERRAS	X	X			X	X	X	X
PARARRAYOS	X	X	X			X	X	
INSTALACIONES MENORES	X	X					X	

(1) REQUIERE DIAGRAMA TRIFILAR Y BALANCEO DE FASES.

7.- RELACION DE EQUIPO, MATERIALES Y ESTIMACION DEL COSTO.

a) LISTA DE EQUIPO.

DEBE CONTENER:

- DESCRIPCION DETALLADA DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES NECESARIOS PARA EFECTUAR LA INSTALACION. DEBE ESTAR ACOMPAÑADA DE ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO MAS COSTOSO ( TRANSFORMADORES, TABLEROS, PLANTA DE EMERGENCIA, - ETC.).
- EL NUMERO DE UNIDADES DE CADA EQUIPO Y/O MATERIAL.
- ESPACIOS PARA ANOTAR OBSERVACIONES EN LA ADQUISICION DE ESTOS EQUIPOS Y MATERIALES.
- CUADRO PARA ANOTAR REVISIONES.

RELACION DE CONCEPTOS

INSTALACION :

FECHA :

PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
	<p>SUBESTACION ELECTRICA                      TIPO COMPACTO, -                      montaje autosoportado, para                      servicio NEMA --                      KV. con barras generales                      de --                      A normales, 3 fases, 3 -                      hilos, 60 Hz. para soportar -                      esfuerzos de circuito corto                      de MVA simétricos en -                      KV. deberá contar con ba                      rra de tierra a lo largo de                      las celdas. Construída en -                      secciones de lámina rolada -                      en frío, calibre 12, acopla                      das entre sí por medio de -                      tornillería; la operación -                      de los equipos se hará por -                      el frente sin abrir las - -                      puertas, las cuales serán -                      embisagradas provistas de -                      manijas de aluminio, chapas                      y llave, tendrán ventanas -                      con cristal inastillable pa                      ra soportar sobre presiones                      internas eventuales hasta -                      de 0.42 Kg/cm<sup>2</sup>. para obser                      var su interior. El acabado                      será con un tratamiento pre                      vio de desengrasado y -                      , pintura anticorro                      siva y pintura de color -                      , la Subestación es                      tará formada por los si ----                      guientes gabinetes de ----</p> <p>Pza.- Gabinete para                      contener el equipo de medi                      ción de la compañía suminis                      tradora de energía; con pla                      ca lateral desmontable.</p> <p>Pza.- Gabinete para                      cuchilla de servicio A,                      KV. catálogo , 3-                      polos, un tiro, operación -                      sin carga, por medio de pa                      lanca desde el frente del -</p>				

RELACION DE CONCEPTOS

INSTALACION

FECHA

PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
	<p>gabinete, con portacandado - en las posiciones abierto - cerrado y con bloqueo mecánico que impida su apertura - si antes no se desconecta - el seccionador principal.</p> <p>Pza.- Gabinete para interruptor principal -- A, KV., Catálogo -- , tres polos, un tiro, - operación con carga por medio de palanca desde el - - frente del gabinete; provisto con lo necesario para la instalación de tres fusibles limitadores de corriente de MVA de capacidad interruptiva simétrica a KV., marca , equipado con dispositivo para disparar tripolarmente el interruptor cuando opera alguno de los fusibles; con seguro mecánico para evitar abrirla puerta si no está desconectado el interruptor; con un juego de apartarrayos autovalvulares, para operación a m.s.n.m. para sistema con neutro solidamente conectado a tierra, - KV, marca Cat. -</p> <p>Pza.- Gabinete para interruptor derivado A., KV. catálogo , 3 - polos, un tiro, operación con carga por medio de palanca desde el frente del gabinete; provisto con lo necesario para la instalación de tres fusibles limitadores de corriente de MVA. de capacidad interruptiva simétrica a KV. marca , equipado para disparar tripolarmente el -</p>				

PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
---------	----------	--------	----------	-------	---------

interruptor cuando opera al  
 gundo de los fusibles; con  
 seguro mecánico para evitar  
 abrir la puerta si no está  
 desconectado el interrup--  
 tor.

Pza.- Placa lateral des--  
 montable.

Pza.- Gabinete de--  
 acoplamiento a transforma--  
 dor, con las barras y sopor  
 tes necesarios para conec--  
 tar con las terminales de -  
 KV. del transformador.

Fusibles limitadores de co--  
 rriente MVA, de capaci--  
 dad interruptiva simétrica--  
 a KV. marca de:

- A, Pza. Cat.
- A, Pza. Cat.
- A, Pza. Cat.
- A, Pza. Cat.
- A, Pza. Cat.

La subestación será proba--  
 da de acuerdo a normas -  
 ,lo requerido por el Re--  
 glamento de Instalaciones--  
 Eléctricas y sus Normas --  
 Técnicas en vigor y garanti--  
 zada por un año contra to--  
 do defecto de manufactura.

Pza.

Pza.- Gabinete de -  
 cuchillas de prueba a base  
 de 3 juegos de cuchillas -  
 A, KV, catálogo - -  
 , tres polos, un ti  
 ro, operació sin carga --  
 por medio de volante desde  
 el frente del gabinete.

SUBESTACION ELECTRICA TIPO COMPACTA.

2 NOMENCLATURA DE LA SUBESTACION.

3 Servicio: Interior ( ) Exterior ( )

4 NEMA: 1.- Servicios generales ( )  
 2.- A prueba de goteo ( )  
 3.- Servicio intemperie ( )  
 3R.- A prueba de lluvia ( )  
 4.- Hermético al agua y el polvo. ( )  
 4X.- Hermético al agua, polvo y resistente a la corrosión. ( )  
 5.- Hermético al polvo. ( )  
 12.- Uso industrial, hermético al polvo y al goteo. ( )

5 Clase de aislamiento: 7.5KV ( ) 25KV ( ) KV ( )  
 15KV ( ) 345KV ( )

6 Barras Generales: Material: Cobre electrolítico ( )  
 Aluminio ( )  
 7 Capacidad: 400A ( ) 800A ( ) A ( )  
 600A ( ) 1200A ( )

8 Capacidad de circuito corto.- Investigar o calcular capacidad a la tensión de servicio 1000 MVA a 23 KV

9 Tratamiento: bonderizado ( )  
 tropicalizado ( )

10 Color: Para interior: gris claro ANSI 61 ( )  
 " exterior: gris azul ANSI 24 ( )  
 otros: verde claro ( )

11 Información para construcción: De izquierda a derecha ( )  
 De derecha a izquierda ( )  
 Otros ( )

11A Gabinete de medición: 1 Pza ( )

12 Gabinete para cuchilla de servicio: 1 Pza. ( )

13 Dar número de gabinete.

15 Dar número de gabinete

16 Cuchilla de servicio 400A ( ) 7.5KV  
 600A ( ) 15 KV  
 A ( ) 23 KV  
 KV

Catálogos: Siemens, Flouy.



18 Dar número de gabinete.

19 Interruptor principal: 400A { } 600A { }      A { }  
7.5KV { } 15KV { } KV { }

Catálogo Siemens \_\_\_\_\_  
Elmex \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

20 Fusibles limitadores de corriente:  
MVA a KV, marca

21 Apartarrayos: Para operar a \_\_\_\_\_ m.s.n.m., \_\_\_\_\_ KV  
marca \_\_\_\_\_ Catálogo \_\_\_\_\_

24 Interruptor derivado:

Corriente nominal- 400A.- Gabinete No. \_\_\_\_\_  
600A.- " " \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_A.- " " \_\_\_\_\_

KV: 75KV ( ) 15KV ( ) 23KV ( ) \_\_\_\_\_KV ( )

Catálogo: Siemens \_\_\_\_\_  
Elmex \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

28 Gabinete de acloylamiento: 7.5KV { } 23KV { }  
15 KV { } KV { }

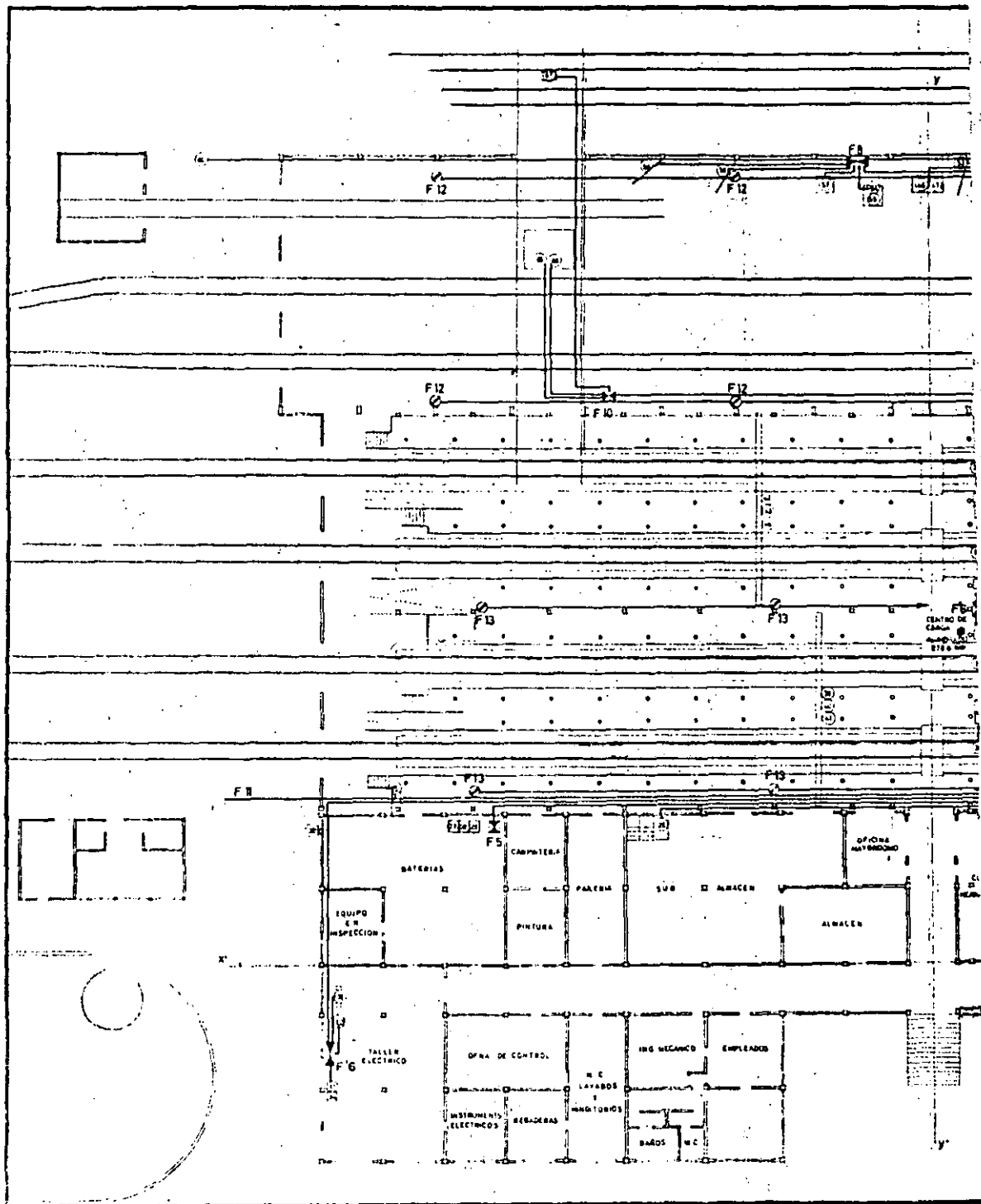
29 Fusibles \_\_\_\_\_ A; \_\_\_\_\_ Pza; Cat. \_\_\_\_\_  
30 " \_\_\_\_\_ A; \_\_\_\_\_ Pza; Cat. \_\_\_\_\_  
31 " \_\_\_\_\_ A; \_\_\_\_\_ Pza; Cat. \_\_\_\_\_  
32 " \_\_\_\_\_ A; \_\_\_\_\_ Pza; Cat. \_\_\_\_\_  
33 " \_\_\_\_\_ A; \_\_\_\_\_ Pza; Cat. \_\_\_\_\_

34 NORMAS: NEMA { }  
ANSI { }  
CCONNIE { }

PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
	<p>PARTIDA I. SUBESTACION ELECTRICA AIRE ACONDICIONADO.</p> <p>SUBESTACION ELECTRICA RECEPTORA "SER AA", tipo compacto montaje autosoportado para servicio interior, NEMA-1, 25 KV. con barras generales de cobre electrolítico 400A. normales, 3 fases, 3-hilos 60 Hz. para soportar esfuerzos de circuito corto de 1000 MVA en 23 KV., deberá contar con barra de tierra de largo de las celdas. Construída en secciones de lámina rolada en frío calibre 12, acoplados entre sí por medio de tornillería; la operación de los equipos se hará por el frente sin abrir las puertas, las cuales serán embisagradas provistas de manijas de aluminio, chapas y llave, tendrán ventanas con cristal inastillable para soportar sobrepresiones internas eventuales de hasta 0.42 Kg/cm<sup>2</sup>. para observar su interior.</p> <p>El acabado será con un tratamiento previo de desgrasado y bonderizado, pintura anticorrosiva y pintura de color verde claro.</p> <p>La Subestación estará formada por los siguientes gabinetes de izquierda a derecha.</p> <p>3 Pzas. Gabinete No. 8,9 y 10 para interruptor derivado, 400A.23KV., Cat.II 2400 3 polos, 1 tiro, operación-</p>				

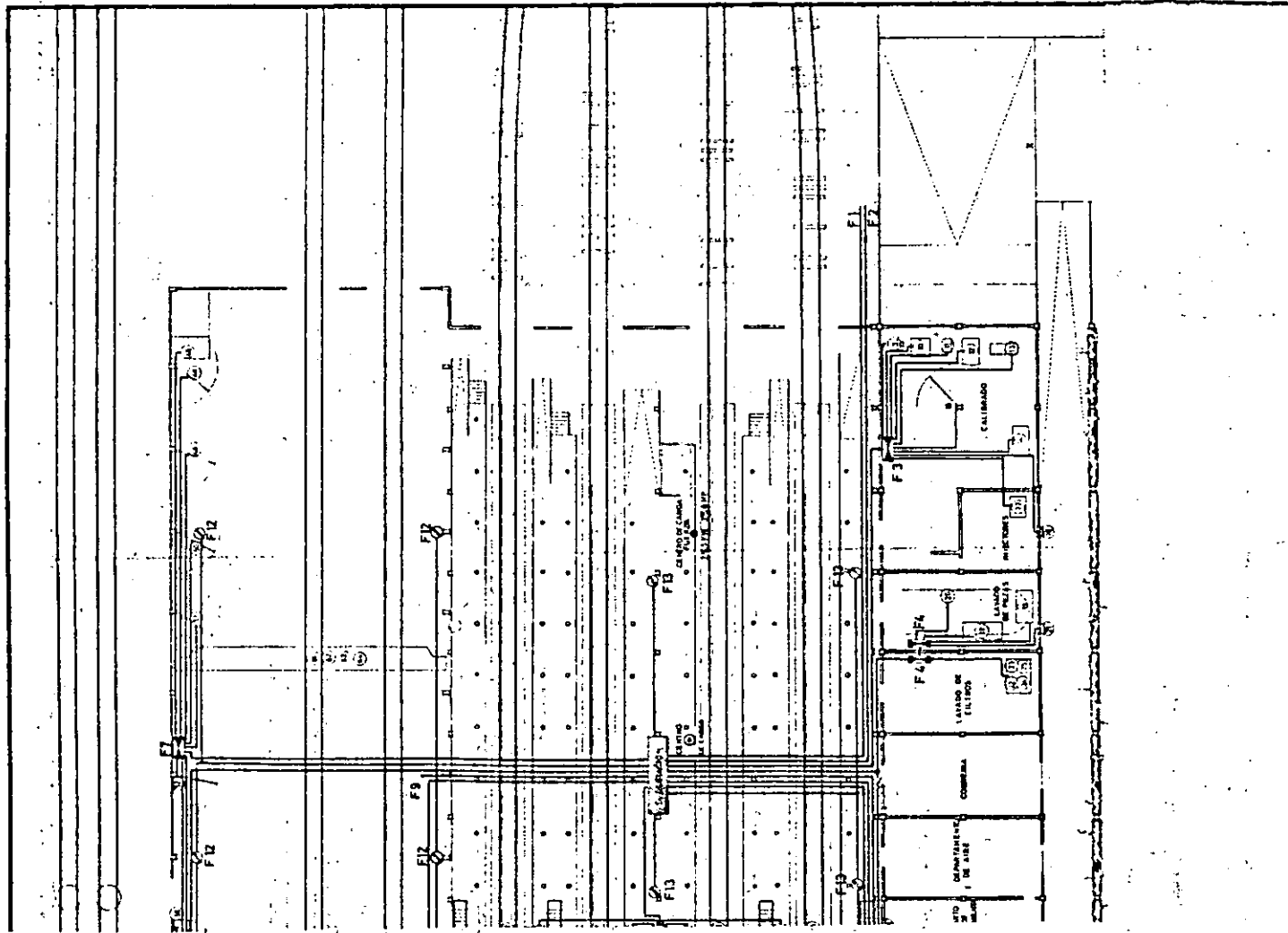
PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
	<p>con carga por medio de palanca desde el frente del Gabinete; provisto con lo necesario para la instalación de tres fusibles limitadores de corriente de 800 MVA a 24 KV. marca ELMEX equipado para disparar tripo larmente el interruptor cuando opera algunos de los fusibles. Con seguro mecánico para evitar abrir la puerta sino está desconectado el interruptor.</p> <p>1 Pza. placa lateral desmontable.</p> <p>Fusibles limitadores de corriente 800 MVA de capacidad interruptiva simétrica a 24 KV. marca ELMEX de:</p> <p>Fusibles de 100A, 12 Pzas. - Cat. FE-24100.</p> <p>La Subestación será probada de acuerdo a normas NEMA, lo requerido en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas y sus Normas Técnicas en vigor y garantizada por un año contra todo defecto de manufactura.</p>	Pza.	1		879,873.00
	<p>Estas tres celdas irán acopladas mecánica y eléctricamente a Subestación existente marca SIEMENS, por lo que se deberá incluir todo lo necesario para su acoplamiento.</p>	Lote	1		30,000.00
	<p>VARIOS DE SUBESTACION:</p> <p>Tarima aislante de 0.5x1.0m con marco de madera ensamblada sin partes metálicas</p>				

PARTIDA	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
	soportadas con aisladores - para 23KV. insertados con - espiga de madera con tapete de hule estriado, pegado -- con adhesivo y barnizadas - con barniz a prueba de agua.	Pza.	4	1,942.50	7,770.00
	TOTAL DE MATERIALES				917,643.00
	MANO DE OBRA:				23,320.00
	VARIOS Y MATERIALES MENORES:				<u>44,964.50</u>

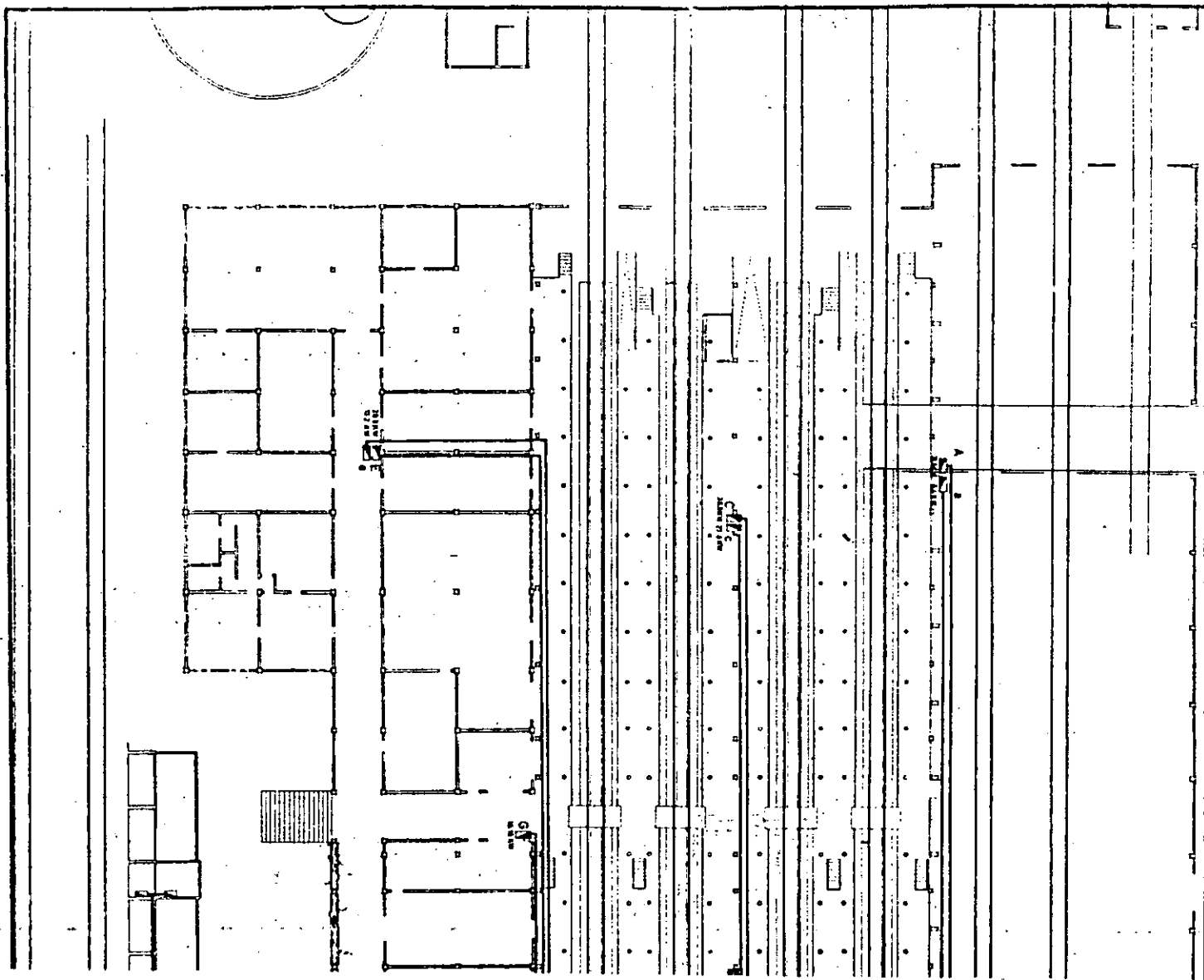


6.- PLANOS.

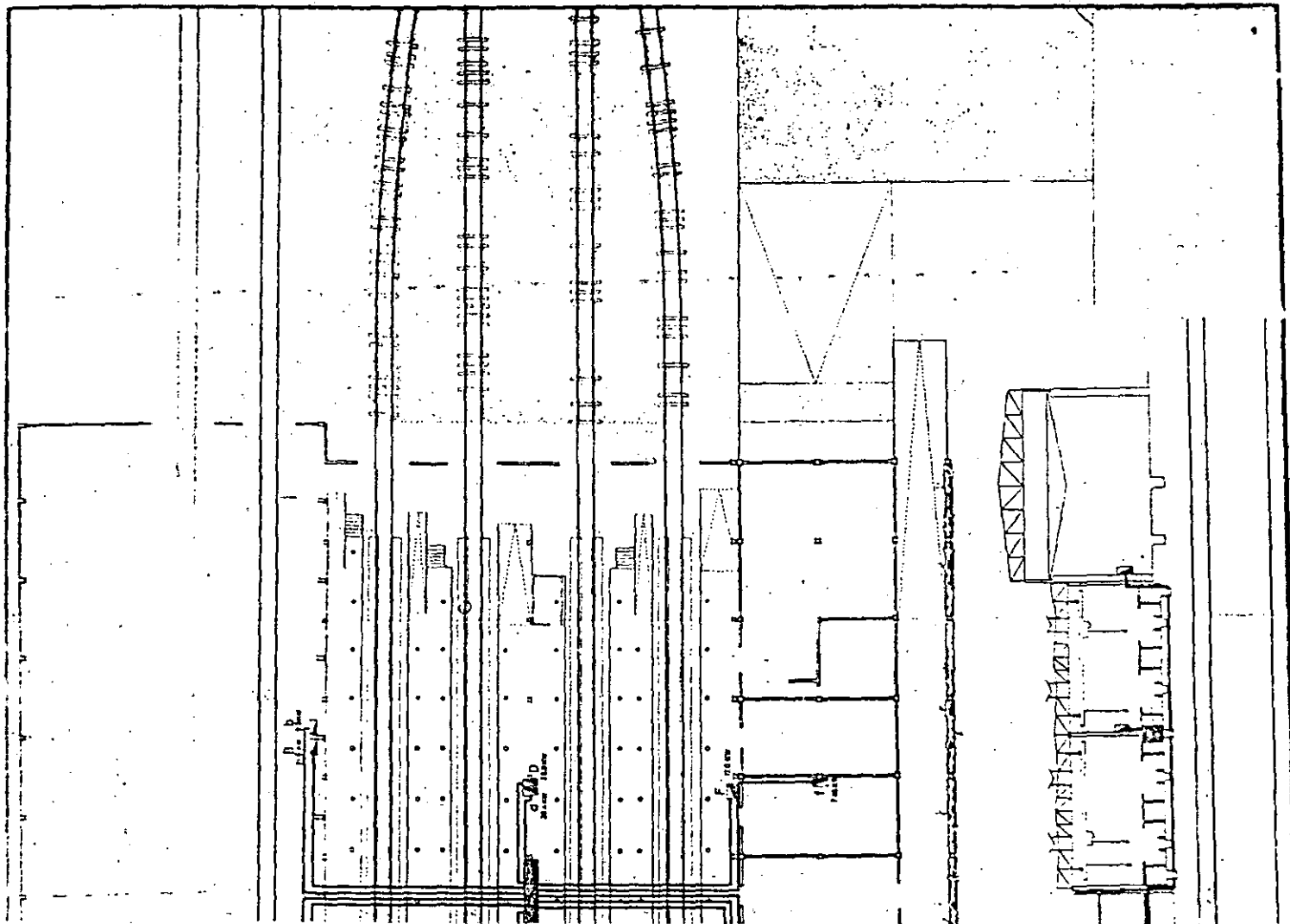
b.)- DISTRIBUCION DE FUERZA.



29a

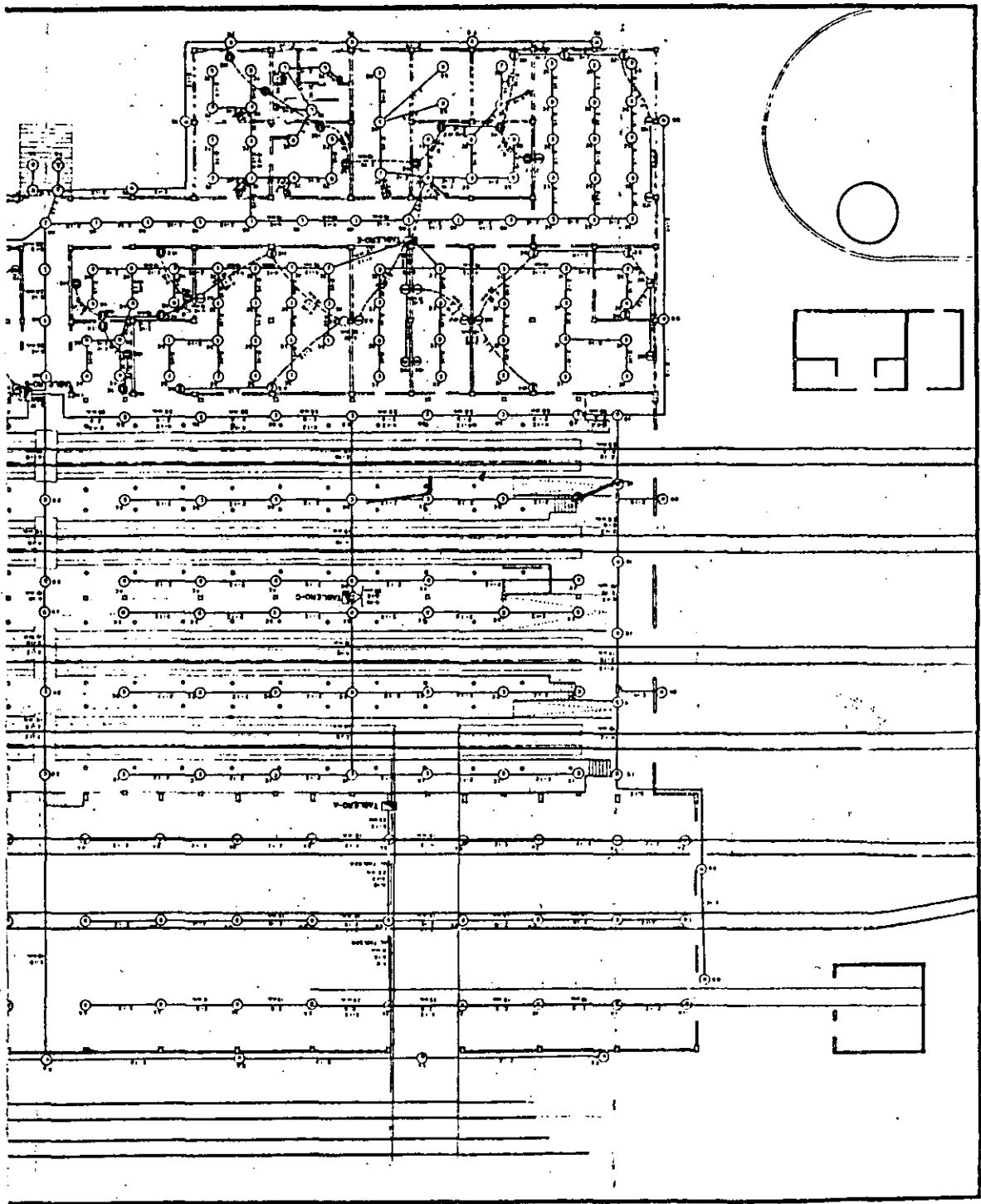


c)- ALIMENTADORES DE ALUMBRADO.

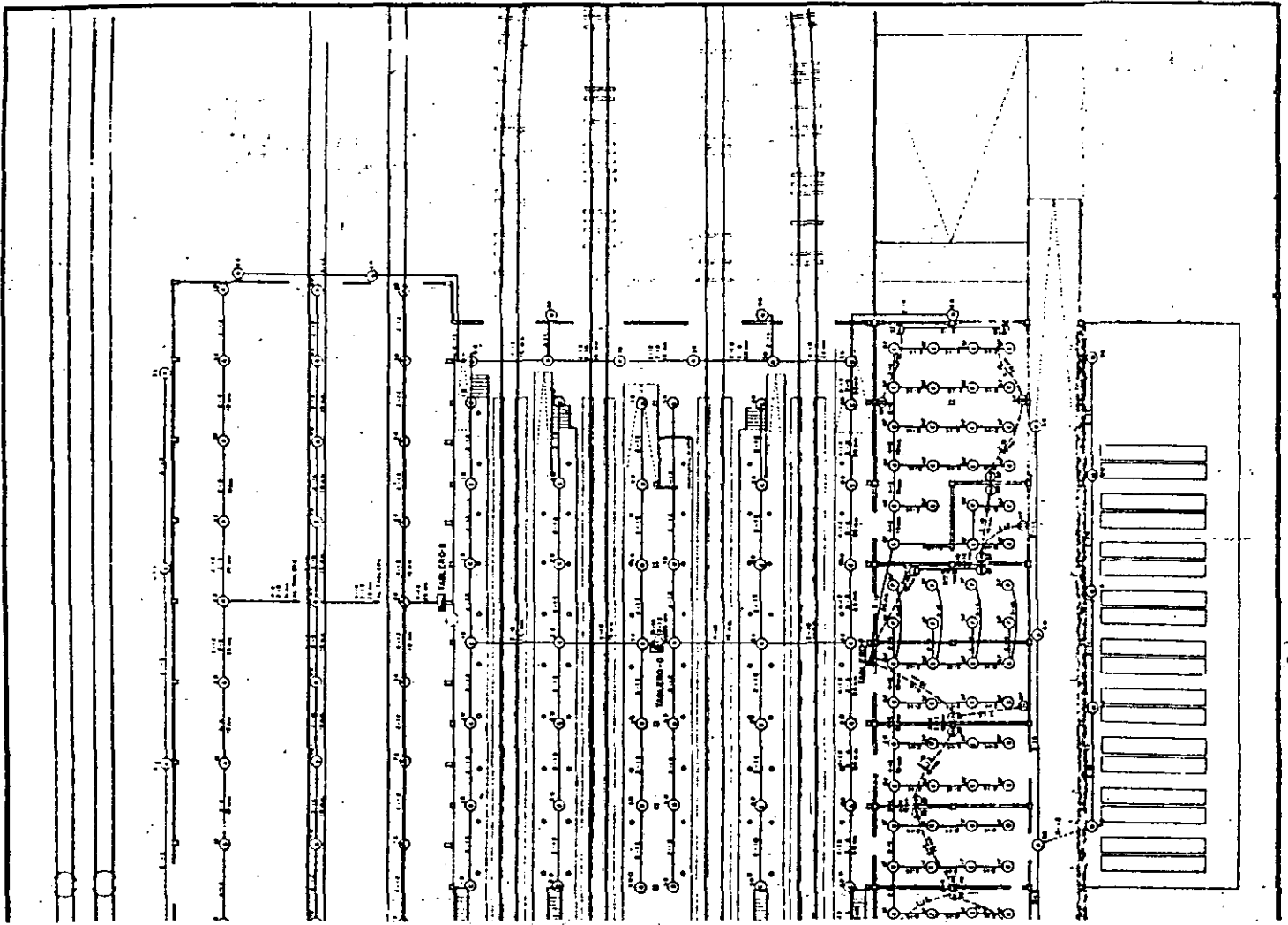


30a

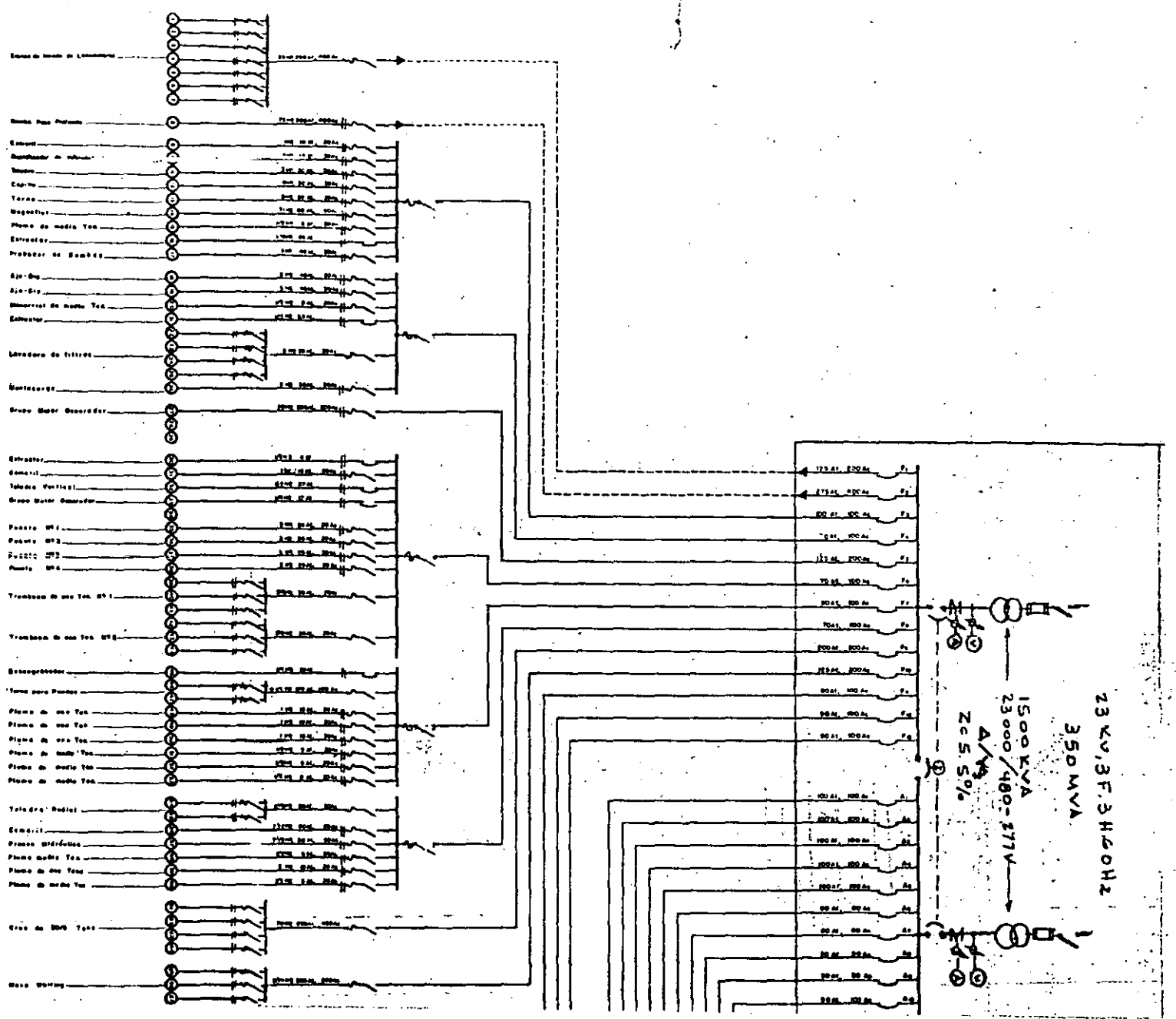




d)- ALUMBRADO Y CONTACTOS.

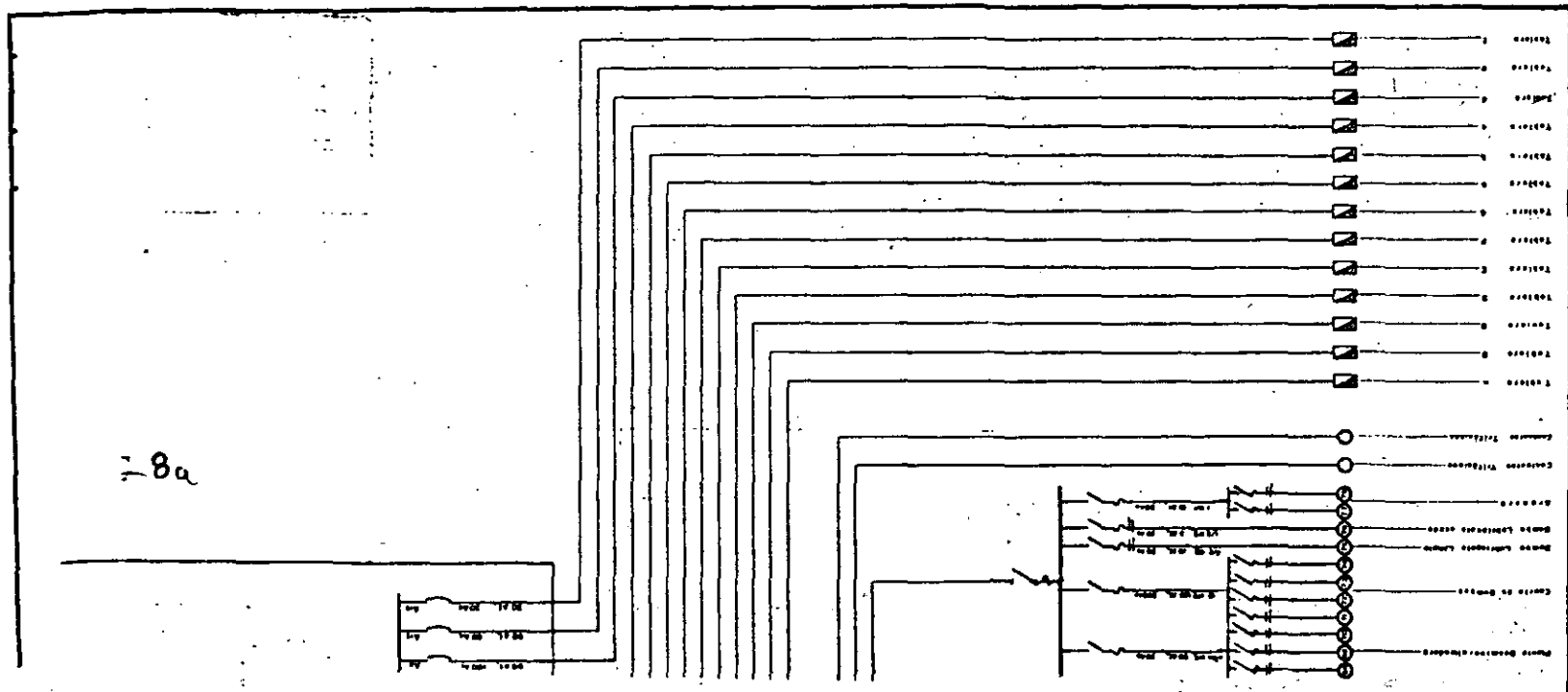


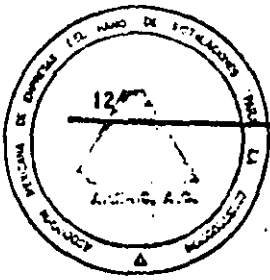
31 a



## 6.- PLANOS.

## a)- DIAGRAMA UNIFILAR.





## SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

Acuerdo que establece los requisitos para la aprobación de los proyectos e instalaciones para el uso de energía eléctrica.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.—Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

ACUERDO que establece los requisitos para la aprobación de los proyectos e instalaciones para el uso de energía eléctrica.

HECTOR HERNANDEZ CERVANTES, Secretario de Comercio y Fomento Industrial, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 34 fracción XXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 28, 44 y demás relativos de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y

### CONSIDERANDO

Que de acuerdo con el artículo 28 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, requieren la previa aprobación de esta Secretaría las instalaciones eléctricas destinadas a industrias, servicios de alta tensión, lugares de concentración pública, edificios para varios usuarios y áreas consideradas peligrosas.

Que el mismo precepto de la Ley mencionada establece que la Comisión Federal de Electricidad sólo suministrará energía eléctrica, previa la comprobación de que las instalaciones destinadas al uso de energía eléctrica hayan sido aprobadas por esta Secretaría en los casos que así se requiere.

Que con el objeto de precisar y facilitar los trámites a realizar para la aprobación de los proyectos e instalaciones eléctricas, es conveniente que se presenten a aprobación de esta Secretaría los planos y proyectos correspondientes, conforme a los cuales deberán ejecutarse las instalaciones, he tenido a bien expedir el siguiente.

ACUERDO QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA APROBACION DE LOS PROYECTOS E INSTALACIONES PARA EL USO DE ENERGIA ELECTRICA.

ARTICULO 1o.—Requerirán la previa aprobación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, los proyectos e instalaciones de energía eléctrica que se destinen a:

I.—Industrias con carga instalada mayor de 20 kw.

II.—Suministros en alta tensión, cualquiera que sea el fin al que se destine la energía eléctrica.

III.—Inmuebles de concentración pública.

IV.—Edificios ocupados por arrendatarios, copropietarios o condóminos.

V.—Áreas consideradas peligrosas.

ARTICULO 2o.—Para los efectos de este Acuerdo se considerarán:

I.—Industrias, las señaladas en el Catálogo Mexicano de Actividades Económicas.

II.—Inmuebles o lugares de concentración pública:

Arenas de box

Auditorios

Bancos

Baños públicos

Bares y cantinas (1)

Bibliotecas públicas

Cárceles y reclusorios

Carpas y circos

Centros de conferencias

Centros nocturnos (cabarets)

Cines

Edificios para oficinas públicas (1)

Edificios para oficinas privadas en donde se atiende al público (1)

Escuelas y demás centros docentes

Establecimientos comerciales con carga instalada mayor de 20 kw (1)

Estadios

Ferias y exposiciones

Galerías o salas de exposición (1)

Gimnasios y centros deportivos (1)

Hospitales y clínicas

Hoteles, moteles y albergues

Iglesias y templos, capillas ardientes

Mercados

Museos

Plazas taurinas

Restaurantes cafés (1)

Salas para fiestas

Salones de baile

Teatros

Terminales para pasajeros (aéreas, terrestres, marítimas)

Los demás inmuebles destinados a fines de esparcimiento, recreativos, culturales, para recibir un servicio, concertar negocios o cualquier otro que sea motivo de reunión en forma habitual, cuando el suministro sea trifásico, requisito éste que será aplicable también respecto de los establecimientos distinguidos con el signo (1).

III.—Inmuebles y áreas peligrosas:

Bodegas y almacenes de materias líquidas, sólidas y gaseosas peligrosas.

Estaciones terminales de almacenamiento de hidrocarburos líquidos y gaseosos

Fábricas de pinturas a base de solventes

Fábricas de productos de hule y sus derivados

Fábricas donde haya áreas de niquelado, galvanoplastia y polvos metálicos

Fábricas textiles

Fábricas de muebles de madera

Gasolineras

Hangares y talleres de reparación aeronáutica Laboratorio (donde se manejen substancias peligrosas).

Madererías

Minas y plantas de refinación en general

Plantas de bombeo y rebombeo de hidrocarburos líquidos y gaseosos

Plantas de almacenamiento y envasado de gas

Plantas de refinación de petróleo

Plantas de tratamiento de carbón

Plantas químicas y petroquímicas

En general, todos aquellos inmuebles o áreas en que se procesen o almacenen sustancias sólidas, líquidas o gaseosas fácilmente inflamables.

ARTICULO 3o.—Los proyectos y la construcción de las instalaciones para el uso de energía eléctrica, estarán a cargo de personas previamente autorizadas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, a la que en lo sucesivo se le denominará la Secretaría.

ARTICULO 4o.—Préviamente a la elaboración del proyecto, el usuario deberá consultar al suministrador si puede proporcionar el servicio con oportunidad, en los siguientes casos:

1.—Si la carga instalada excede de 20 kw.

2.—Si el lugar en el que deberá proporcionarse el servicio se encuentra a más de 200 m. del registro o poste de la red de alta o baja tensión existente más próxima.

ARTICULO 5o.—El proyecto que se presente a la Secretaría deberá estar integrado por planos y memoria técnica, esta última sólo en el caso de que las instalaciones sean para alta tensión o alta y baja tensión.

ARTICULO 6o.—Los planos se elaborarán tomando en cuenta lo siguiente:

1.—El original se dibujará a tinta, en papel albanene o cualquier otro que permita obtener copias heliográficas con claridad.

2.—El tamaño de los planos se sujetará a las siguientes dimensiones en cm: 70x110, 55x70, 35x55, 28x40 y 21.5x28.

3.—La letra será de un alto mínimo de 2 mm., y puede ser escrita con plantilla o a mano usando el tipo de imprenta, en cuyo caso deberá ser lo suficientemente clara.

4.—Las escalas serán las adecuadas para que en los tamaños fijados, se tenga el espacio suficiente para lo que se desee presentar, anotándose en cada plano la escala utilizada. Es recomendable según el caso, usar las siguientes escalas: 1:100,000; 1:5,000; 1:2,000; 1:1,000; 1:500; 1:100 y 1:50.

5.—Se usará el Sistema General de Unidades de Medidas, de acuerdo con la Norma NOM-Z-1 vigente (Sistema Métrico Decimal).

6.—Contendrán exclusivamente los datos relativos a las instalaciones eléctricas, serán claros e incluirán la información suficiente para su correcta interpretación, de manera que permita construir la instalación. Se indicarán notas aclaratorias a los puntos que el proyectista considere necesarios.

7.—Se usarán los símbolos que se indican en la Tabla 1. En caso de tener que usar algún símbolo que no aparezca en dicha Tabla, se indicará su descripción en los planos.

8.—Se dejará en la esquina inferior derecha un cuadro en el que se anotará:

a).—Nombre o razón social del solicitante del servicio.

b).—Domicilio (calle y número, colonia, C. P., Delegación o población, municipio y entidad).

c).—Uso al que se vaya a destinar la instalación (giro o actividad).

d).—Nombre, número de registro en la Secretaría y firma del responsable del proyecto. En el caso de la elaboración de planos de instalaciones ya construidas, el que firma como responsable del proyecto también se hace responsable de ésta.

e).—Fecha de elaboración del proyecto.

f).—Espacio para los sellos y firmas de aprobación por parte de la Secretaría.

9.—En caso de que el proyecto esté integrado por varios planos, se anotará la continuidad de cada plano con respecto al general de conjunto en el que se indicará la acometida, la subestación, en su caso, los alimentadores principales hasta los centros de cargas, anotando los números de los planos correspondientes y acotándose la parte de la instalación comprendida en cada plano.

10.—El proyecto contendrá:

A).—Diagrama unifilar.

B).—Cuadro de distribución de cargas por circuito.

C).—Planos de planta y elevación, en su caso.

D).—Croquis de localización en relación a las calles más cercanas.

E).—Lista de materiales y equipo por utilizar.

F).—Memoria técnica a que se refiere el artículo 5o. de este Acuerdo.

11.—El diagrama unifilar comprenderá:

A).—Acometida.

B).—Subestación, en su caso, mostrando las características principales de los equipos que la integran. Si la subestación es del tipo unitario se indicará el número de la autorización de la Dirección General de Normas de la Secretaría.

C).—Alimentadores hasta los centros de carga, tableros de fuerza, alumbrado, etc., indicando su longitud en cada caso y caída de tensión representada en por ciento.

D).—Alimentadores y circuitos derivados, excepto los controlados desde los tableros de alumbrado.

E).—Tipo, capacidad interruptiva y rango de ajuste de cada una de las protecciones de los alimentadores principales y derivados.

F).—Calibre, tipo de material y aislamiento de los conductores activos y neutros de los alimentadores principales y derivados.

G).—Tipo y dimensiones de la canalización empleada en cada alimentador.

12.—El cuadro de distribución de cargas comprenderá:

A).—Alumbrado.

Número de circuito, número de lámparas, contactos o dispositivos eléctricos por cada circuito, fases a que va conectado el circuito, carga en watts y corriente en amperes de cada circuito, calibre de los conductores, diámetro de tubería y protección contra sobrecorriente por

cada circuito, desbalanceo entre fases expresado en por ciento.

**B).—Fuerza**

Número del circuito, fases del circuito, características de los motores o aparatos y sus dispositivos de protección y control así como indicar a qué circuito están conectados y el nombre de la máquina o máquinas que accionen, calibre de conductores, diámetro de tubería o ducto y el resumen de cargas indicando el desbalanceo entre fases expresado en por ciento.

13.—Los planos de planta y elevación comprenderán:

A).—Localización del punto de la acometida, del interruptor general y del equipo principal incluyendo el tablero o tableros generales de distribución.

B).—Localización de centros de control de motores, tableros de fuerza, de alumbrado y contactos y de concentraciones de interruptores.

C).—Trayectoria horizontal y vertical (cuando ésta exceda de 4 metros) de alimentadores y circuitos derivados, tanto de fuerza como de alumbrado identificando cada circuito, e indicando su calibre y canalización, localización de motores y equipos alimentados por los circuitos derivados, localización de los arrancadores y sus medios de desconexión, localización de contactos y unidades de alumbrado con sus controladores, identificando las cargas con su circuito y tablero correspondiente.

D).—Localización, en su caso, de áreas peligrosas indicando su clasificación de acuerdo a las normas técnicas de instalaciones eléctricas.

Si en el proyecto existen puntos que puedan dar lugar a diferentes interpretaciones, se detallará la información pertinente, como por ejemplo en los casos de concentración de interruptores, derivaciones de alimentadores principales, etc.

14.—El croquis de localización comprenderá:

La manzana y las calles que circundan a ésta, la ubicación del predio dentro de la manzana, número de lote o número oficial, la orientación, colonia, población y otras referencias que faciliten su localización.

15.—La lista de materiales y equipo especificado comprenderá:

Cada uno de los principales materiales y equipos que se utilizarán especificando su marca y número de registro en esta Secretaría.

**ARTICULO 7o.**—La memoria técnica comprenderá:

1.—Los datos que sirvieron de base para establecer el criterio de diseño y que fijará la forma de operar la instalación, tales como factor de demanda de cada alimentador principal y derivado, régimen de trabajo y tipo de servicio de motores y soldadoras, etc.

2.—Los cálculos para la adecuada selección de la capacidad interruptiva simétrica y nominal de las protecciones principales de la instalación.

**ARTICULO 8o.**—En la elaboración de los planos de detalle de las instalaciones se tomará en cuenta:

1.—Para subestaciones:

a) Mostrar el arreglo del equipo eléctrico que integra la subestación, indicando las distancias entre partes energizadas entre sí y a tierra. Cuando se trate de subestaciones abiertas, marcar la altura de montaje de cuchillas, interruptores, apartarrayos, postes, etc. La vista de planta, elevación y detalles de la subestación, mostrarán con claridad la acometida del servicio, subidas y bajadas de conductores, cruzamiento entre líneas, mufas, instalaciones de aisladores de suspensión, de alfiler, de tensores y retenidas, etc.

b) Indicar dónde se localiza: el drenaje, la ventilación, los extinguidores, los accesorios de seguridad, los accesos al local, cercas protectoras, sistema de tierra, anuncios de peligro, las tarimas aislantes y las unidades de alumbrado normal y de emergencia que el proyecto incluya.

c) Mostrar la localización e instalación de cables en ductos; excepto lo referente a la acometida del servicio, los registros y las vueltas que los cables efectúen en su recorrido. Asimismo, anotar las características de estos conductores.

d) Indicar claramente la conexión realizada entre el interruptor de alta tensión y el primario del transformador; incluyendo sus medios de soporte y terminales, en su caso.

e) Anotar el tipo de apartarrayos utilizado y su tensión nominal de operación; el o los tipos de interruptores utilizados, su corriente nominal en amperes, su calibración o ajuste del disparo y la capacidad interruptiva simétrica de los mismos; cuando se utilicen fusibles, de indicará si son de expulsión o no, si son limitadores de corriente o son de potencia y si son del tipo indicador, así como el valor del elemento fusible y el valor de su capacidad interruptiva.

f) Anotar la capacidad de corto circuito disponible en el punto de suministro, consultando para el efecto al suministrador.

g) Señalar la existencia de mecanismos que impidan operar con carga los desconectores y abrir las puertas de los gabinetes cuando existan partes energizadas en el caso de subestaciones compactas.

h) Anotar las características completas del o los transformadores tal y como aparecen en sus placas de datos.

i) Indicar tipo y mecanismos de operación de desconectores e interruptores, material, tipo y tensión de operación de los aisladores utilizados; material y dimensiones de las barras o conductores de alta tensión, características de capacitores y sus medios de desconexión y puesta a tierra.

2.—Para protección contra sobrecorriente, indicar el tipo de la protección (si es fusible, anotar si es de doble elemento, limitador de corriente o del tipo convencional); tensión y corriente nominal (especificar el valor del elemento fusible o la calibración, en caso de termomagnéticos y electromagnéticos con disparo ajustable); marco y capacidad interruptiva en amperes simétricos y tipo de cubierta. En caso

de utilizarse relevadores se indicará su tipo y rango de ajuste.

3.—Para conductores.—Indicar calibre, tipo de material, clase de aislamiento y tensión en volts, mencionando si es cable o alambre, así como el tipo y material de sus cubiertas y si cuenta con pantallas semiconductoras.

4.—Para canalizaciones:

a) Tubos conduit.—Indicar tipo de material, espesor de la pared, recubrimiento, diámetro nominal y si es flexible o rígido.

b) Ducto metálico con tapa.—Indicar el área o sección transversal del ducto.

c) Charolas.—Anotar tipo de material y ancho de la charola y dibujar detalle del acomodo de los cables en cada tramo.

5.—Para motores:

a) Indicar para cada motor, los datos completos de sus respectivas placas.

b) Cuando se trate de soldadoras, indicar los datos completos de sus placas.

c) Indicar el tipo de controlador (clavija, desconectador, interruptor o contactor), si es automático o manual y si es a tensión reducida o completa, así como el tamaño y tipo de cubierta del mismo.

d) Anotar el valor en amperes de la protección contra sobrecorriente del motor.

e) Tipo, capacidad y tensión nominal del medio de desconexión, indicando las características de la cubierta.

f) Identificar todos los motores que aparecen en los diagramas unifilares, vistas físicas y cuadros de cargas.

6.—Para alumbrado y contactos:

a) Indicar el tipo de lámparas y portalámparas; tensión nominal; capacidad en watts; pérdidas en watts del balastro o reactor, mencionando el número de lámparas que dependen de cada reactor y si éste es parte integrante del portalámpara o no, asimismo, especificar el tipo de cubierta del portalámpara.

b) Indicar la capacidad en watts de los contactos, número de fases especificando si está o no aterrizado, tensión nominal y tipo de cubierta.

7.—Para sistemas de tierras, la instalación referente al aterrizado del sistema eléctrico y a la puesta a tierra de las partes metálicas no conductoras de corriente del equipo eléctrico, pueden representarse en planos o memorias descriptivas, pero en cualquier caso contendrá las características de electrodos, dimensiones, tipo de material y longitud enterrada; especificará las características del puente de unión que conecta el electrodo de entrada del servicio con los conductores de tierra, tanto del sistema como del equipo; indicar las características del conductor de tierra del sistema, las correspondientes al medio de conexión individual de los equipos y/o aparatos al sistema de tierra, señalando las características de los conectores empleados, incluyendo si son del tipo soldable o atornillable; se anotarán los criterios y cálculos, en su caso, que dieron base a la selección del sistema de tierra.

ARTICULO 9o.—Para obtener la aprobación

del proyecto, se deberá presentar ante la Dirección General de Normas de esta Secretaría o en la Delegación Federal de la propia dependencia en cuya jurisdicción se encuentra el domicilio del solicitante, una solicitud por escrito, que contendrá la siguiente información:

1.—El nombre y número de registro del responsable del proyecto, el nombre de la persona física o moral propietaria de la instalación y la dirección en donde se localizará ésta (calle y número, colonia, código postal, delegación o población, municipio y entidad), uso al que se vaya a destinar y carga (kw).

2.—Una copia del proyecto de las instalaciones.

3.—Un tanto de la memoria técnica en los casos mencionados en el artículo 5o. de este Acuerdo.

ARTICULO 10.—En los casos a los que se refiere el artículo 1o. de este Acuerdo, la construcción de una instalación o su ampliación deberá estar a cargo de persona previamente autorizada por la Secretaría, quien deberá efectuarla tomando en cuenta lo siguiente:

1.—Apegarse al proyecto previamente aprobado por la Secretaría.

2.—Utilizar los materiales, dispositivos, aparatos y equipos oficialmente aprobados, con especial cuidado en las áreas peligrosas.

3.—En caso de que el proyecto tenga alguna deficiencia, se corregirá ésta, informando al solicitante del servicio.

4.—Cuando durante la construcción surjan cambios importantes al proyecto, deberá actualizarse el mismo y ponerlo nuevamente a consideración de la Secretaría.

5.—Una vez terminada la instalación y antes de energizarla se harán como mínimo las pruebas indicadas en el artículo 11.

ARTICULO 11.—El número de pruebas que deben realizarse en las instalaciones eléctricas serán, como mínimo, las previstas en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas cuyo número se indica entre paréntesis.

1.—Resistencia de aislamiento (102.5).

2.—Continuidad de conductores (301.6).

3.—Continuidad de canalizaciones (301.5).

4.—Resistencia de electrodos artificiales (206.49).

5.—Resistencia total del sistema de tierras en las subestaciones (603.2).

ARTICULO 12.—Para obtener la aprobación de la instalación eléctrica se deberá presentar lo siguiente:

1.—Aviso por escrito de terminación de la construcción, firmado por el responsable y el propietario o usuario comunicando el resultado de las pruebas mencionadas en el artículo 11 de este Acuerdo y declarando, bajo protesta de decir verdad, lo siguiente:

a) Nombre y número de registro del responsable del proyecto y fecha de elaboración del mismo.

b) Que la instalación eléctrica se hizo ajustándose al proyecto previamente aprobado.

c) Que se utilizaron los materiales y equipos aprobados por la Secretaría.



d) Que se cumplió con el Reglamento de Instalaciones Eléctricas y sus Normas Técnicas.

e) Que la carga en kw (kva para subestaciones) corresponde a lo que se proyectó anejando la relación de carga de la instalación.

f) Nombre del solicitante del servicio.

g) Dirección de la instalación y giro.

h) Nombre, número de registro en la Secretaría y firma del responsable de la construcción, de la instalación eléctrica.

La Secretaría podrá, de considerarlo necesario, practicar inspección ocular sobre las instalaciones. De satisfacerse todos los requisitos exigibles aprobará la instalación para que pueda contratarse el servicio, sin perjuicio de corroborarse el cumplimiento de los requisitos técnicos y de seguridad que fijan los reglamentos. De no corresponder la instalación al proyecto previamente aprobado, se concederá al interesado el plazo que se considere necesario para que realice los cambios que se requieran.

ARTICULO 13.—Para obtener el suministro de energía eléctrica respecto de los inmuebles o lugares comprendidos en los artículos 1o. y 2o. de este Acuerdo, el solicitante del servicio deberá exhibir al suministrador la aprobación de la instalación expedida por esta Secretaría, sin la cual no podrá contratar el servicio.

En los demás casos no se requerirá de autorización previa de la Secretaría y el suministrador

deberá proporcionarlo bajo la responsabilidad del solicitante, salvo de que acuerdo con la Ley u otra disposición vigente no sea procedente o se condicione a satisfacer algún requisito.

ARTICULO 14.—En lo no previsto en los artículos anteriores serán aplicables las demás disposiciones legales en materia de energía eléctrica.

ARTICULO 15.—La Dirección General de Normas de esta Secretaría, llevará un control de las actividades que realicen las personas autorizadas para la proyección y ejecución de obras e instalaciones eléctricas destinadas al uso de la energía eléctrica, el que se tendrá en cuenta para el refrendo del registro correspondiente.

#### TRANSITORIOS

PRIMERO.—El presente Acuerdo entrará en vigor el 15 de julio de 1984.

SEGUNDO.—Se abroga el Acuerdo por el que se establecen los trámites relativos a la aprobación de los proyectos y construcción de instalaciones destinadas al uso de energía eléctrica y los datos y condiciones que deben satisfacer los mismos proyectos y construcciones, publicado en el Diario Oficial de la Federación de 17 de marzo de 1982.

México, D. F., a 14 de junio de 1984.—El Secretario de Comercio y Fomento Industrial, Héctor Hernández Cervantes.—Rúbrica.

Equivalencias de  
tipos de Fusibles  
por  
tipo de fabricante

CLASE  
**1300**  


**BUSSMAN A FEDERAL PACIFIC**

Buss	Federal Pacific	Buss	Federal Pacific	Buss	Federal Pacific
BAF	MOL	LPN	LEN	SSW	B1010
BAN	MOF	LPS	LES	SSX	C1010
FNM	MEN	NON	EON	SSY	D1010
FRN	ECN	NOS	EOS	SSY-L	D1011
FRS	ECS	REN	ERN	SSY-RL	D1111
GLR	GLR ó FFG	RES	ERS	STY	D2010
HLR	HLR	S	TS ó 9-	T	TE
HBO	OBH	SA	A	W	CP
JHC (No UL)	No lo hace	SC	—	213	213
JKS	JCL	SCY	D2020	216	216
KAA	RFA*	SKA	E2100	226	226
KAB	RFN*	SOU	A1000	263	263
KAC, KBC	RFS*†	SOW	B1000	616	616
KAH	RFA	SOX	C1000	626	626
KAW	MRL*	SOY	D1000	663	663
KBH	RFV*	SOY-B	D2000	2621	2621
KRP-C	LCL	SRA-R	E2200	2641	2641
KTK	MCL	SRU	A1100	2642	2642
KTN	NCL	SRW	B1100	2661	2661
KTS	SCL	SRX	C1100	2662	2662
LKN	ELN	SRY	D1100	2664	2664
LKS	ELS	SSV	A1010		

\*Favor de consultar con la fábrica la disponibilidad  
†Algunas dimensiones del tipo KAC difieren de las del tipo RFS.

Los números de catálogo son letras simbólicas seguidas de los amperes.

Esta lista es una guía general. Las características específicas se deben checar con la fábrica.

**Equivalencias de tipos de Fusibles por tipo de fabricante**



**CHASE-SHAWMUT (ITE) A FEDERAL PACIFIC**

CHASE-SHAWMUT		FEDERAL PACIFIC	
Descripción	Símbolos*	Nombre de Fábrica	Símbolos*
Fusibles para una operación (One-Time)	OT	Eco	ECON
	OTS		EOS
Renovable con retraso de tiempo	RF	Economy	ERN
	RFS		ERS
Trionic-Doble Elemento	TR	Econ	ECN
	TRS		ECS
Amp. Trap-Doble Elemento	AT-DE	Econ Limiter	LEN
	ATS-DE		LES
Amp. Trap, Forma 600 Tipo 2	A6Y Tipo 2	Econolim	MCL
Amp. Trap, Forma 600 Tipos 1, 3	A2Y (Tipos 1, 3)	Econolim	NCL
	A6Y (Tipos 1, 3)		SCL
Amp. Trap Clase K	A2K	Econolim	NCL
	A6K		SCL
Amp. Trap Clase J	A4J	Econolim	JCL
Amp. Trap, Forma 480	A4BY	Econolim	LCL
Amp. Trap, Forma 101	A13X	Econolim Tipo RL**	RFA
	A25X		RFN
	A50P		RFV
	A60X		RFS

\*Las letras de símbolo seguidas de los amperes dan el número de catálogo.  
 \*\*Checar con la Fábrica la disponibilidad.

**GENERAL ELECTRIC (GE) A FEDERAL PACIFIC (FPE)**

No. de Cat. GE y Rango	No. de Catálogo FPE y Rango	Referencia
GF8B3-600	JCL3-600	—
GF8B800-4000	LCL800-4000	—
GF6A6-200	NCL6-200	Notas 1 y 3
GF6A6-200	NCL6-200	Notas 1 y 3
GF7A300-600	NCL300-600	Notas 2 y 3
GF7B300-600	SCL-300-600	Notas 2 y 3

**Nota 1** Los fusibles GE 6-60 Amp. tienen ranura de rechazo. No están listados por UL y no tienen equivalente FPE.

**Nota 2** Los catálogos GE indican fusibles con navajas estriadas en los tipos GE-7 series 300-600 Amps. No están listados por UL y no tienen equivalente FPE.

**Nota 3** Los fusibles Federal Pacific NCL y SCL están listados por UL como clase "K-1". Hasta la fecha los tipos GF6 y GF7 no están listados por UL pero pueden estar listados como clase "H".

**Amperes nominales:** Es la corriente que el fusible conduce continuamente sin deteriorarse y sin exceder la sobreelevación de temperatura en los límites especificados para ese fusible.

**Casquillo o férula:** Es la terminal cilíndrica metálica del fusible, la cual también aloja el extremo del eslabón fusible. Este diseño sólo se emplea normalmente en fusibles hasta 60 Amp. El casquillo se fabrica de cobre o de latón.

**Capacidad interruptiva: ( CI ).** Es un valor basado en el mayor valor de corriente alterna RCM (o corriente continua) el cual debe interrumpir el fusible bajo las condiciones especificadas por las normas. Después de interrumpir la corriente de falla, el cartucho no deberá tener cuarteaduras, no deberá dañar a los portafusibles y no deberá haber arqueos de extremo a extremo en la parte exterior del fusible.

El valor o rango interruptivo, en sí mismo, no tiene relación directa con el efecto de limitación de corriente del fusible.

**Corriente asimétrica:** (aplicada únicamente a CA). La corriente asimétrica es aquella que tiene una onda senoidal fuera del eje de simetría debido a una componente de CC. sobrepuesta. Una corriente asimétrica dará como resultado mayores valores de corriente de circuito corto que una corriente simétrica.

**Corriente simétrica:** Es una corriente con una onda simétrica respecto al eje cero. Este término se aplica a corriente alterna únicamente.

**Corriente pico de fuga:** Es la corriente máxima instantánea que pasa a través de un fusible durante el tiempo total de apertura. Dado que este es un valor instantáneo, podrá exceder la corriente RCM disponible pero será menor que la corriente de pico disponible si no hubiera fusible en el circuito.

**Corriente RCM:** Literalmente significa "Corriente Raíz Cuadrática Media". Es el valor eficaz de una corriente alterna, el cual es calculable como la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de todos los valores instantáneos de corriente en un

ciclo. La corriente alterna RCM es aquel valor de una corriente alterna la cual produce el mismo efecto de calentamiento que un valor dado de corriente continua.

**Dimensiones "CNE":** Son las dimensiones especificadas por el Código Nacional Eléctrico, pero que ahora se encuentran en la tabla III de las normas UL (Underwriter's Laboratories) para fusibles No. 198. Estas dimensiones son comunes para los fusibles clases H y K y aseguran que los fusibles sean intercambiables entre los diferentes fabricantes para un valor dado de amperes y volts.

**Eslabón fusible:** Es el elemento responsable de la corriente en un fusible, el cual se diseña para fundirse bajo condiciones de falla, y así interrumpir el circuito. Un "eslabón renovable" es aquel que se usa en fusibles renovables.

**Fusibles clase H:** Son los cartuchos fusibles, también conocidos como de dimensiones CNE (Código Nacional Eléctrico), los cuales no se clasifican en las normas de otra clase. Los fusibles clase H son probados y enlistados por los laboratorios Underwriter's bajo sus normas 198 en 250 y 600 volts con capacidad interruptiva no mayor de 10000 amperes. Los fusibles no son etiquetados con ninguna capacidad interruptiva ni marcados como limitadores de corriente. Las normas UL (Underwriter's Laboratories) para fusibles clase H no especifican retardo de tiempo y las palabras "Retardo de Tiempo" en la etiqueta no indican prueba de UL para este tipo.

**Fusibles clase J:** Son los fusibles capacitados para interrumpir 100000 ó 200000 amperes CA de acuerdo con las normas de los Laboratorios Underwriter's y normas NEMA. Son etiquetadas por UL como "Limitador de Corriente, y son para 600 volts CA ó menos, con dimensiones tales que no sean intercambiables con otras clases de fusibles. Los fusibles clase J de acuerdo con las normas UL, no son del tipo con retardo de tiempo.

**Fusibles clase K:** Son los fusibles según normas de Laboratorios Underwriter's tal como K-1, K-5 o K-9. Estas normas han prescrito valores para la

máxima corriente de pico de fuga y valores  $I^2t$  para cada sub-clase, siendo la clase, K-1 la que tiene los valores más bajos (o más restringidos) y la clase K-9 con los valores más altos (o menos restringidos) de dimensiones igual a la clase H, estos fusibles no son del tipo renovable. Sus niveles de capacidad interruptiva son de 50000, 100000 ó 200000 amperes. No son etiquetados como "Limitadores de Corriente". Las palabras "Retardo de Tiempo" en la etiqueta indican que el fabricante ha adoptado la prueba opcional de normas UL para esta característica. El empleo de fusibles clase K permite que el equipo y sus circuitos sean empleados en sistemas con corriente de falla potenciales en exceso de 10000 amperes.

**Fusibles clase L:** Los fusibles con capacidad de 800 a 6000 amperes, diseñados para interrumpir 100000 a 200000 Amp. CA, son clasificados por las normas UL y normas NEMA como clase L y etiquetados como limitadores de corriente; con aislamiento para 600 volts. CA, o menos y de dimensiones específicas mayores que las de otros fusibles de 600 volts. Su diseño es apropiado para ser atornillados a las barras colectoras y no se emplean porta-fusibles. Estos fusibles no incorporan retardo de tiempo en los términos aquí definidos, sin embargo los tiempos de apertura por sobre carga varían entre varios valores dentro de las normas establecidas, no hay fusibles de 250 volts en esta clase.

**Fusible limitador de corriente:** Es un cartucho fusible, el cual podrá interrumpir todas las corrientes disponibles dentro de su rango interruptivo, dentro del alcance de sus valores de limitación de corriente, limita el "Tiempo de Apertura" a voltaje nominal a un intervalo igual o menor que el mayor primer 1/2 ciclo o primer pico simétrico, y limita la corriente pico de fuga a un valor menor que la corriente pico que sería posible si el fusible fuera reemplazado por un conductor sólido de la misma impedancia. Nótese que la limitación de corriente únicamente es efectiva a un valor específico de corriente. Los Laboratorios Underwriter's ( UL ), únicamente reconocen y permiten etiquetar a las clases J y L como "Limitadores de corriente", aún cuando los fusibles de la clase K son, de hecho, limitadores de corriente en cierto grado.

**Fusibles doble elemento:** Son los cartuchos fusibles que tienen elementos responsables de la corriente de dos diferentes características de fusión en serie, en un sólo cartucho. Uno de estos elementos puede consistir de dos componentes, uno a cada extremo del segundo elemento, para obtener un mejor balance del calor generado. Esta construcción es normalmente usada en los fusibles con "retardo de tiempo"

**Fusibles tipo navaja:** Es la construcción de los fusibles arriba de 60 Amp. Las terminales en cada extremo son barras planas de cobre pulido y centradas al eje del tubo.

**Fusibles de una operación: "one time":** Estrictamente hablando, son todos aquellos fusibles no renovables, pero generalmente este término se emplea para describir cualquier fusible clase H, no renovable el cual tiene un sólo elemento fusible y adecuado para interrumpir fallas no mayores de 10000 Amp. RCM.

**Fusible renovable:** Es un fusible en el cual el elemento, generalmente un eslabón, puede ser reemplazado después que el fusible ha abierto. Este tipo de fusible gradualmente ha ido perdiendo popularidad en México por el hecho de que no puede interrumpir con seguridad más de 10000 Amp. Además los eslabones sobrados de capacidad pueden dar lugar a una condición insegura para el equipo, y el personal.

**Fusible Plata-Arena:** Este término, no muy comunmente empleado se refiere a cualquier fusible compuesto de eslabones de plata y arena de sílice como material de relleno. Todos los fusibles limitadores de corriente modernos tienen este diseño.

**$I^2t$ :** Es la medida de la energía calorífica generada en un circuito durante la fusión o apertura de un fusible. Generalmente se denomina " $Fusión I^2t$ ". Donde "I" es la corriente efectiva de fuga (la cual está al cuadrado) y "t" es el tiempo en segundos. Por lo tanto  $I^2t$  se expresa como "amp.<sup>2</sup>seg." El empleo de  $\times 10^3$  después del valor significa simplemente "agregar 3 ceros"; por ejemplo 20 amp.<sup>2</sup>seg.  $\times 10^3$  es igual a 20000 amp.<sup>2</sup>seg.

**Limitador de corriente** Es un elemento diseñado para funcionar únicamente en corriente de falla de alta magnitud y el cual no operará en sobrecarga, menores sin considerar el tiempo. Tal aparato deberá ser siempre usado en serie con un fusible o interruptor para que estos últimos protejan contra sobrecargas o circuitos cortos menores. Un caso típico es el de los interruptores moldeados con fusibles integrales.

**NEMA:** Es la "National Electrical Manufacturers Association", la cual establece las normas con las que la industria eléctrica elimina la posible incomprensión entre fabricantes de equipo y el usuario o comprador y para asistir al comprador en la selección del equipo. Estas son normas voluntarias que complementan pero no suplen las normas UL.

**NORMAS UL:** Las normas UL (Underwriter's Laboratories) se formaron para asistir a las compañías aseguradoras estableciendo los principios y luego certificando los productos y materiales que cumplieran con las mismas. La organización es ahora patrocinada por la "American Insurance Association". Dado que las normas UL no abarcan todo el equipo eléctrico, se complementan con las normas NEMA u otras cuya naturaleza se debe verificar para determinar su valor tanto técnico como de carácter legal.

**Puente:** Aquellas pequeñas porciones de un eslabón fusible, las cuales se espera sean las primeras en fundirse. Un eslabón puede tener dos o más puentes en paralelo, y en serie también.

**Retardo:** Este término se aplica a los tiempos de apertura de un fusible en exceso de un ciclo donde el tiempo puede variar dentro de las normas establecidas.

**Sobrecarga:** Generalmente empleada para referirse a una sobrecorriente la cual no es de suficiente magnitud para ser considerada como un circuito corto. Una sobrecarga es normalmente aquel valor de sobrecorriente de 101 % del valor nominal del fusible a 500 % del mismo valor.

**Tiempo de Arqueo:** Es el tiempo comprendido entre la fusión del elemento responsable de la

corriente (tal como el eslabón fusible) a la apertura final del circuito. Este tiempo dependerá de factores tales como tensión y reactancia del circuito.

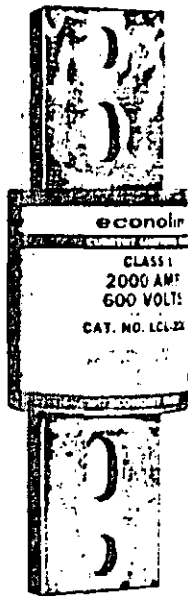
**Tiempo de Apertura:** Es el tiempo total transcurrido entre el principio de la sobrecorriente específica y la interrupción final del circuito, a tensión nominal. Es la suma del "tiempo de fusión" y el "tiempo de arqueo". Para tiempos de apertura mayores a 1/2 ciclo, este tiempo es substancialmente el tiempo de fusión.

**Tiempo de Fusión:** Es el tiempo requerido por la corriente para fundir el elemento sensible a ella en una sobrecarga específica. Donde el tiempo de fusión excede 1/2 ciclo, éste es aproximadamente igual al tiempo de apertura. Donde un fusible está limitando la corriente a menos de 1/2 ciclo, el tiempo de fusión puede ser aproximadamente la mitad o menos del tiempo de apertura. (Algunas veces es llamado "tiempo de pre-arqueo").

**Tiempo Retardado:** Este término es en la actualidad empleado por las normas NEMA y UL para definir, en cartuchos fusibles, un tiempo mínimo de apertura de 10 segundos en una sobrecarga de 500 % del valor nominal del fusible. Este retardo de tiempo es necesario para permitir la corriente de arranque o corriente de rotor bloqueado momentánea de los motores eléctricos. En los fusibles tipo "Tapón", el término "Tiempo Retardado" es interpretado por las normas UL como un mínimo tiempo de apertura de 12 segundos en una sobrecarga de 200 % del valor nominal de fusible.

**Tensión Nomina** Es la tensión de la corriente alterna RCM (o la corriente continua), al cual se diseña el fusible para operar. Todos los fusibles funcionan con seguridad en cualquier tensión menor, pero el empleo en tensiones mayores al nominal puede ser peligroso. Bajo altos valores de corriente de circuito corto, un incremento en la tensión ocasionará un incremento en los tiempos de arqueo y apertura.

# para dar protección a los circuitos de alta capacidad y para sistemas coordinados con precisión use y especifique ECONOLIM



LOS FUSIBLES ECONOLIM interrumpen con seguridad las corrientes de falla disponibles hasta 200,000 amperes. Al hacer esto, no hay ruptura del fusible del cartucho ni expulsión de gases ionizados. Al mismo tiempo, limitan la corriente a través del sistema durante la fracción del tiempo de fusión de los clips y reducen grandemente la energía térmica que podría desarrollarse durante la interrupción. Las máximas corrientes que pasan y los valores I<sup>2</sup>t están totalmente dentro de las normas establecidas por UL y NEMA. Todos los fusibles Econolim usan el principio establecido de enlaces de plata pura con arena de cuarzo como relleno, en tubos de vidrio melamínico.

Los fusibles Econolim - Clase J, permiten que se cumpla totalmente con el Código Nacional Eléctrico porque no son intercambiables con otros tipos de fusibles hasta 600 amp.

Los fusibles Econolim - Clase K-1, pueden usarse con todos los dispositivos con clips de contacto para fusibles estándar, con el objeto de lograr una mayor coordinación, más alta capacidad de interrupción y mejor limitación de la energía y la corriente durante la apertura. Las características eléctricas son similares a las de los fusibles clase J.

Econolim - Clase L. Estos fusibles son para uso en aparatos de conexión; interruptores atornillados de presión y la mayoría de los interruptores con capacidad de más de 600 amp. Se les ha incorporado suficiente retraso de tiempo en caso de sobrecarga para permitir coordinación en relaciones favorables. Para información detallada, solicite las hojas descriptivas para la Clase 1317.

Los fusibles Econolim "Midget" son ideales para proteger circuitos de control, alumbrado de calles y equipo especial donde el tamaño pequeño es esencial.

Fusibles ECONOLIM limitadores de corriente, con alta capacidad de interrupción.

Clase J, UL y NEMA, de 0-600 Amperes.

Capacidad en Amperes	Dimensiones de la Clase J. No entrarán en el espacio estándar de los fusibles NEC.
	600 Voltios o menos
	Cat. No.
	Símbolo del Cat. "JCL" seguido por los Amperes
1, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30 35, 40, 45, 50, 60 70, 80, 90, 100 110, 125, 150, 175, 200 225, 250, 300, 350, 400 450, 500, 600	

FUSIBLES MINIATURA (Dimensiones:  
Longitud total 38 mm. (1-1/2")  
Diámetro del Casquillo 10.3 mm.

10,000 Amps. de C.I.

Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo
32 VOLTS		250 VOLTS		250 VOLTS		250 VOLTS	
20	MEN 20	—	—	1.25	MEN 1.25	4	MEN 4
25	MEN 25	—	—	1.4	MEN 1.4	4.5	MEN 4.5
30	MEN 30	—	—	1.6	MEN 1.6	5	MEN 5
		—	—	1.8	MEN 1.8	5.6	MEN 5.6
		—	—	2.0	MEN 2.0	6.25	MEN 6.25
125 VOLTS				2.25	MEN 2.25	7	MEN 7
12	MEN 12			2.5	MEN 2.5	8	MEN 8
15	MEN 15	10	MEN 10	2.8	MEN 2.8	9	MEN 9
		1.125	MEN 1.125	3.2	MEN 3.2	10	MEN 10
				3.5	MEN 3.5		

Midget: Miniatura

Clase L, (UL y NEMA) de 601-6000 Amps.

Amperes	Catálogo No.
800	LCL 800
1000	LCL 1000
1200	LCL 1200
1600	LCL 1600
2000	LCL 2000
2500	LCL 2500
3000	LCL 3000
4000	LCL 4000
5000	LCL 5000
6000	LCL 6000

Especifíquese el Tipo I para perforaciones de 6 agujeros estándar o el Tipo II para el patrón más antiguo de perforación de 4 agujeros. Hasta 4000 Amps tienen perforación universal.

Fusibles ECONOLIM limitadores de energía con alta capacidad de interrupción

Capacidad en Amperes	Estos fusibles cumplen con las normas de UL para la clase K-1 y son similares eléctricamente a la Clase J, pero entrarán en los clips de contacto de fusibles estándar NEC.	
	250 Volts o menos.	600 Volts o menos.
1, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30 35, 40, 45, 50, 60 70, 80, 90, 100 110, 125, 150, 175, 200 225, 2250, 300, 350, 400 450, 500, 600	Cat. No. Símbolo del Cat. "NCL" seguido por los Amperes	Cat. No. Símbolo del Cat. "SCL" seguido por los Amperes

Agréguese el sufijo "R" al Número del Catálogo para la característica de rechazo en las clasificaciones de 70 amperes o más. Ejemplo: SCL400R.

Fusibles MIDGET limitadores de corriente, de 10.32 X 38.1 mm. - 600 Volts o menos - Cap. de inter. 100,000 amps.

Amperes	Catálogo No.	Catálogo No.	Catálogo No.
1	MCL1	MCL4	MCL10
1.5	MCL1.5	MCL5	MCL15
2	MCL2	MCL6	MCL20
3	MCL3	MCL8	MCL25
			MCL30

# Fusibles de Baja Tensión

CLASES  
1315  
1320



## ECON-LIMITER\*

Fusibles limitadores de energía  
con retraso de tiempo - Clase K-5 (U'L')

Estos fusibles están clasificados en la lista de U.L. como de la Clase K-5 y tienen una capacidad de interrupción de 200,000 amperes r.c.m.c.a. Con el mismo retraso de tiempo de por lo menos 10 segundos al 500% de las capacidades especificadas para los fusibles Econ doble elemento, el limitador Econ limiter proporciona un mayor grado de limitación de corriente (con  $I^2t$  y máxima corriente de fuga, publicados) y una capacidad más alta de interrupción. Esto hace ideal su uso en sistemas cuidadosamente coordinados.

Capacidad de interrupción: 200,000 amperes r.c.m.c.a. No se presentan casos de ruptura o de expulsión de gases en corrientes altas.

Limitación de la corriente: El escape de corriente y los niveles de energía  $I^2t$  son muy inferiores a los requerimientos de las Normas UL para la Clase K-5. De este modo, estos fusibles reducen al mínimo la apertura de fusibles del lado de línea y protegen completa y coordinadamente el equipo del lado de carga.

Retraso de tiempo: soporta el 500% de su capacidad con una dilación de 10 segundos máximos proporcionando retraso de tiempo para corrientes de arranque de motores con carga, como los fusibles Econ de doble elemento. Evita la interrupción innecesaria de circuitos.

Funcionamiento sin calentamiento: la fusión por sobrecarga ocurre a 175° C. como máximo; temperatura más baja que los fusibles ordinarios. No hay carbonización de tubos o destrucción del interruptor debido a calentamiento por sobrecarga.

4

Ahorro en espacio y en costo: en muchos casos la característica de retraso de tiempo permite el uso de interruptores más pequeños y los valores más bajos de  $I^2t$  facilitan el empleo de fusibles principales más pequeños para el lado de línea.

Para mayor información técnica respecto a los fusibles "Econ-Limiter". Solicite a FPEM las hojas descriptivas de la Clase 1315.

Amperes	250 volts	600 volts
	Catálogo No.	Catálogo No.
1, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30	Símbolo del catálogo "LEN" seguido por los amperes.	Símbolo del catálogo "LES" seguido por los amperes.
35, 40, 45, 50, 60		
70, 80, 90, 100		
125, 150, 175, 200		
225, 250, 300, 350, 400		
450, 500, 600		



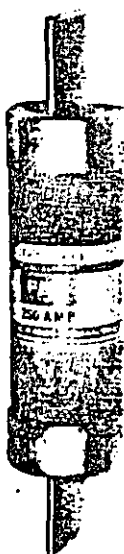
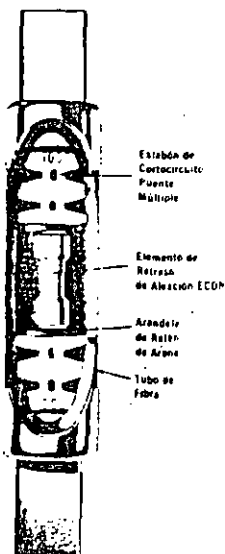
# FRE Fusibles de Baja Tensión

Fusibles de Cartucho de doble elemento. Están clasificados por UL según Clase K-9, para 200.000 amperes r.c.m., c.a., de capacidad interruptiva. Son fusibles limitadores de energía con una dilación de tiempo de por lo menos 10 segundos a 500 o/o de su capacidad. Cuando se usan en circuitos de motores, reducen al mínimo su operación debido a las corrientes de arranque y en algunos casos permite el uso de interruptores más pequeños. Es el fusible ideal para aplicaciones industriales de servicio general.

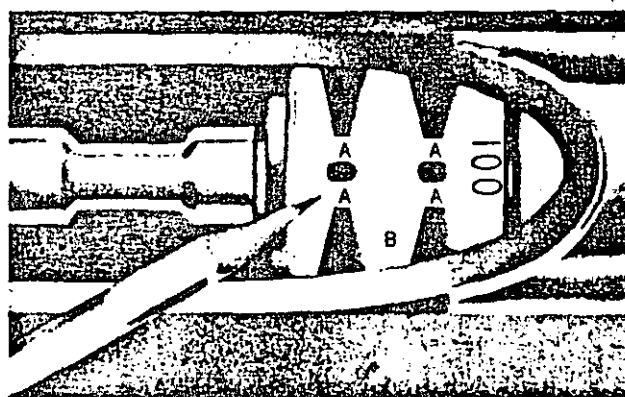
Amperes	250 VOLTS.		600 VOLTS.	
	Catálogo No.	Caja de	Catálogo No.	Caja de
1, .15, .2, .3, .4, .5, .6, .8, 1, 1.125, 1.25, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.25, 2.5, 2.8, 3, 3.2, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.6, 6.25, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 17.5, 20, 25, 30	Símbolo del catálogo "ECN" seguido por los amperes	10	Símbolo del catálogo "ECS" seguido por los amperes	10
35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100		10 5		10 5
110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400	1	1	1	1
450, 500, 600	1	1	1	1

Tipo "Ferula" (casquillo), 60 amp. y menos. Tipo de navaja, 65 amp. y mayores.

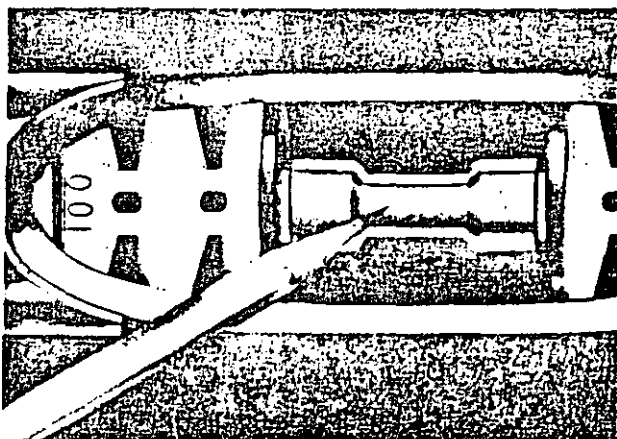
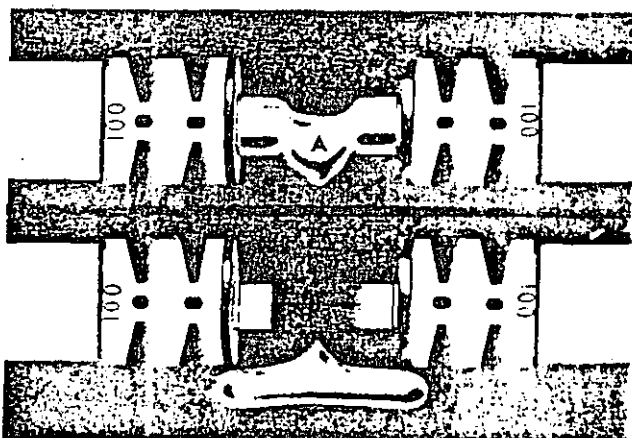
Para información detallada, solicitenos las hojas Descriptivas Clase 1330 en español.



Acción instantánea en corto circuitos. Los eslabones de cualquier extremo abren el circuito inmediatamente cuando se produce un "corto" peligroso. Las gargantas (A) funden instantáneamente provocando la caída de las secciones más pesadas (B) interrumpiendo el circuito completamente.



Acción rápida y positiva en caso de sobrecarga peligrosa. Cuando la sobrecarga excede límites de calor y de tiempo que se determinan de antemano, la aleación ECON (A) cambia instantáneamente de sólido a líquido, interrumpiendo positivamente el circuito. ATENCIÓN: LA DISTANCIA (entre hierro) MUY GRANDE (B) PROPORCIONAN UN "CORTE SEGURO" DEL CIRCUITO... EVITA LA FORMACION DE UN ARCO.



Retraso en sobrecargas momentáneas e inofensivas. El elemento térmico de la exclusiva aleación ECON absorbe sobrecargas inofensivas hasta 500 o/o... el retraso calibrado evita interrupciones innecesarias... evita tiempos perdidos.

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

## Con Retraso de Precisión y Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM



Diseñados principalmente para la protección de motores, los fusibles ECON interrumpen por medio de uno de sus dos elementos. En sobrecargas hasta de 500%, la apertura se realiza por la fusión del elemento de tiempo de aleación ECON. En cortocircuitos mayores de 500% de la designación, los eslabones de cualquier extremo del fusible cortan en una fracción de ciclo. El diseño, probado por el tiempo, tiene nuevas características mejoradas que dan a los fusibles ECON:

1. Mayor capacidad interruptiva.
2. Más rápida extinción del arco con menor "corriente pico de la corriente de fuga" (Let-Thru) en todas las condiciones posibles del circuito.
3. Mayor grado de limitación de corriente que en los fusibles convencionales.
4. Comportamiento mejorado en circuitos reactivos y de 600 volts C.C.

Los fusibles ECON que abren por sobrecarga, tienen un amplio espacio entre terminales de polaridad opuesta que imposibilita el restablecimiento del circuito.

### PROTECCIÓN RETRASADA POR SOBRECARGA

La aleación ECON del elemento de sobrecarga, funde a menos de la mitad del punto de fusión de los eslabones de zinc. Para formar el calor de fusión, son necesarios exceso de corriente y tiempo. Cuando una sobrecarga persiste o su magnitud aumenta, la aleación ECON fundirá instantáneamente sin pasar por estados pastosos. La aleación ECON mantiene su forma y rigidez hasta su punto de licuefacción. Los estados intermedios son imposibles.

### PROTECCION DE CORTOCIRCUITO

Ante un cortocircuito, el eslabón fusible abre el circuito inmediatamente. El diseño incorpora el principio de que, ante un cortocircuito, una serie de arcos no pueden mantenerse tanto tiempo como un arco solo. Los eslabones, cuidadosamente calibrados, tienen una serie de puentes que se funden cuando se presenta una falla peligrosa. Los puentes múltiples del eslabón, hacen que las secciones más anchas caigan y sean reemplazadas por arena de cuarzo que proporciona rápida interrupción del arco, menor corriente pico de la corriente de fuga (Let-Thru) y mayor capacidad interruptiva.

### VENTAJAS DE LOS FUSIBLES "ECON"

Las pruebas independientes de los industriales y su aprobación por la "CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION" y los "UNDERWRITERS LABORATORIES, INC". Comprueban el sólido diseño y el comportamiento uniforme de los fusibles ECON. Son importantes las siguientes características:

Pueden seleccionarse para proteger las corrientes reales de los motores puesto que los fusibles ECON no operan con sobrecorrientes momentáneas inofensivas evitando interrupciones innecesarias.

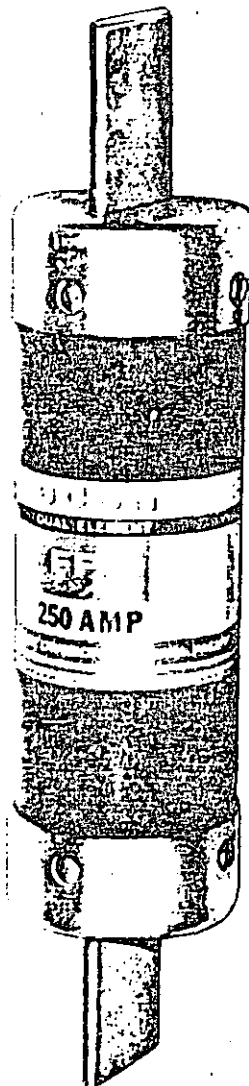
Mejor protección contra falla de fase ya que la sobrecarga en las restantes es suficiente para fundir un fusible ECON y parar el motor.

"Baja corriente pico de la corriente de fuga" (Let-Thru). Esta característica impide a la corriente de falla, alcanzar valores destructivos para las ramas más vulnerables del circuito y equipo asociado, que serían seguras con fusibles ordinarios de un solo elemento y donde los fusibles limitadores más costosos, no están justificados.

Protección estrictamente calibrada contra cualquier sobrecarga sostenida, peligrosa para el motor porque los fusibles ECON ofrecen una relación precisa entre el calor de sobrecarga, la cantidad y la composición controladas de la aleación fusible usada.

Trabajan a temperatura más baja que los fusibles de un solo elemento, permitiendo al equipo asociado trabajar más frío.

Disipan menos energía debido a su menor resistencia y a su más fría operación.



Protegen contra calentamiento en el equipo fusible, porque dicho calentamiento fundirá el fusible ECON, antes de que se produzca una avería. Una conexión floja o corroída que produzca altas temperaturas, abrirá el fusible.

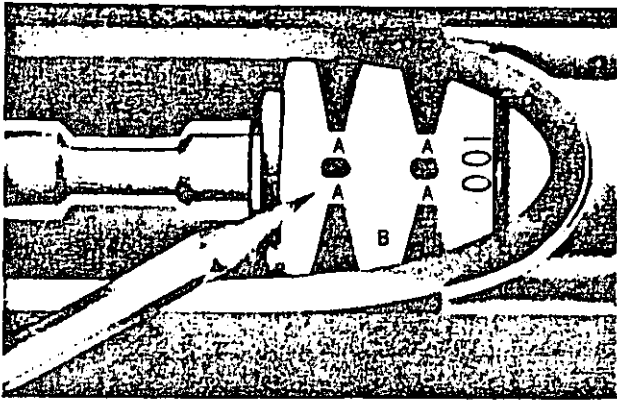
Pueden escogerse con mayor precisión para el alambrado y equipo protegido sin estar sujeto a interrupciones innecesarias, pudiendo usarse equipo más compacto y más barato.

Interrumpen con seguridad, cortocircuitos de todas capacidades hasta 200,000 amperes RMC. o más.

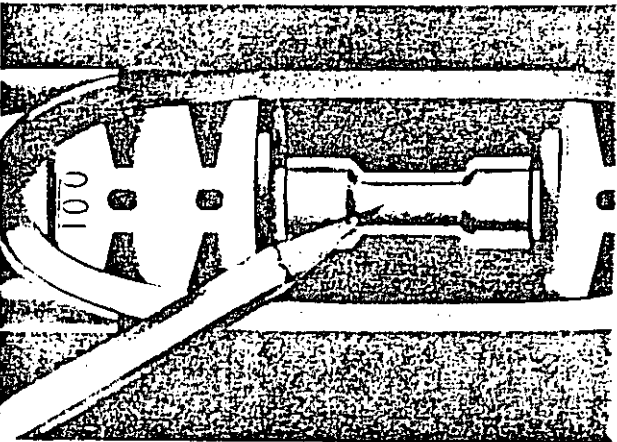
# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

## Con Retraso de Precisión y Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

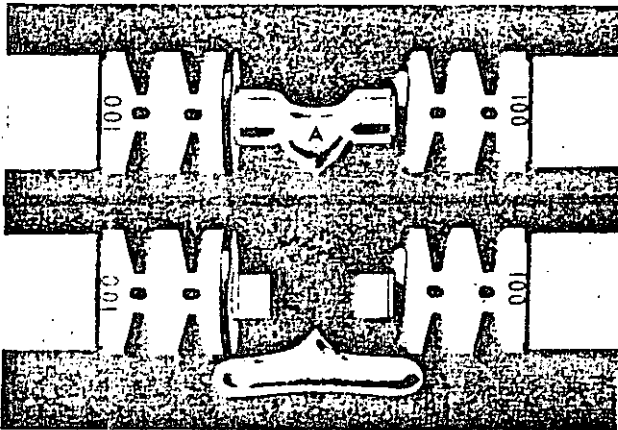
CLASE  
1330



Acción instantánea en cortocircuitos. Los eslabones de cualquier extremo abren el circuito inmediatamente cuando se produce un "corto" peligroso. Las gargantas (A) funden instantáneamente provocando la caída de las secciones más pesadas (B) interrumpiendo el circuito completamente.



Retraso en sobrecargas momentáneas o inofensivas. El elemento térmico de la exclusiva aleación ECON absorbe sobrecargas inofensivas hasta 500%... el retraso calibrado evita interrupciones innecesarias... evita tiempos perdidos.



Acción rápida y positiva en sobrecargas peligrosas. Cuando la sobrecarga excede predeterminados límites de tiempo y calor, la aleación ECON (A) cambia instantáneamente de sólido a líquido interrumpiendo positivamente el circuito. Obsérvese: El espacio extra ancho (B) proporciona distancia "interrupción-segura"... evita el arco.

Idealmente adaptados a la protección de elementos tales como bobinas, relevadores y solenoides porque el elemento de tiempo no se fundirá con la corriente inicial momentánea a menos que la sobrecarga sea sostenida y dañina.

### FUSIBLES MINIATURA "ECON"

Además de las dimensiones NEC normales de los fusibles ECON de acción retardada, se fabrican también en tamaño miniatura para la protección de motores donde el espacio es cuestión primordial, como en los tableros de control de motores. Los fusibles miniatura se fabrican con las mismas normas de alta calidad que los fusibles ECON normales. Su especificación se encuentra en la pág. 5.

### FUSIBLES TIPO CASQUILLO

#### Hasta 60 Amperes 250 y 600 Volts

Para capacidades hasta 9 amperes, 250 y 600 volts, un elemento calentador enrollado dentro de un casquillo termo conductor aislado con cerámica opera el elemento de sobrecarga. En sobrecargas sostenidas de magnitud suficiente, la soldadura de aleación ECON se funde y permite al resorte arrastrar al interruptor en su guía, abriendo el circuito. La aleación ECON usada tiene un punto de fusión preciso y mantiene su rigidez mientras se calienta hasta que se funde totalmente. (Ver pág. 3 parte superior).

Para capacidades de 10 a 60 amperes, 250 volts, y 10 a 30 amperes, 600 volts, el listón fusible de cada extremo conduce el calor hasta el elemento de sobrecarga. Este, en conjunción con el elemento almacenador de calor, que actúa como dren térmico, produce un diseño que proporciona retraso adecuado a varios porcientos de sobrecarga. En este diseño, una sobrecarga de suficiente duración y magnitud, funde la aleación ECON permitiendo al resorte, separar al elemento almacenador de calor del listón de cortocircuito. (Ver pág. 3, parte inferior).

Para capacidades de 35 a 60 amperes, 600 volts, la construcción interna es la misma que para los fusibles de navajas mostrados en la pág. 4.

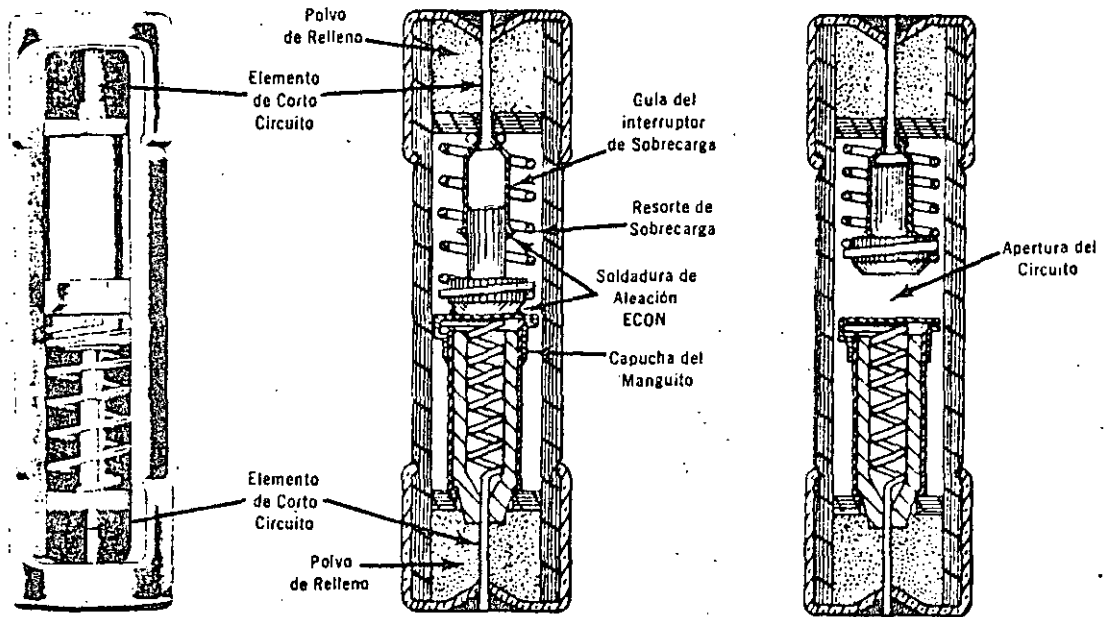
**Protección instantánea contra cortocircuitos:** En un cortocircuito, el eslabón rodeado de polvo extinguidor de arco, funde instantáneamente en uno de los puentes o más, abriendo el circuito. Todos los fusibles ECON, tienen elementos dobles equilibrados. Estos elementos se calibran de forma que, hasta 500% de carga, el elemento de sobrecarga abra el circuito en un tiempo relacionado con el por ciento de sobrecarga. Arriba de 500% el calor instantáneo es suficiente para fundir los eslabones extremos abriendo el circuito.

**Construcción:** Para proporcionar duración y persistencia, los resortes de los interruptores de sobrecarga con retraso de tiempo, se construyen de acero inoxidable de alta temperatura resistente a la corrosión. Los eslabones fusibles tienen tolerancias tan precisas como una diezmilésima de pulgada (0.0025 mm.) en el espesor, para asegurar la uniformidad así como funcionamiento consistente y de confianza. Los casquillos de los fusibles de este tipo, están asegurados al tubo para evitar movimientos giratorios asegurando continuidad.

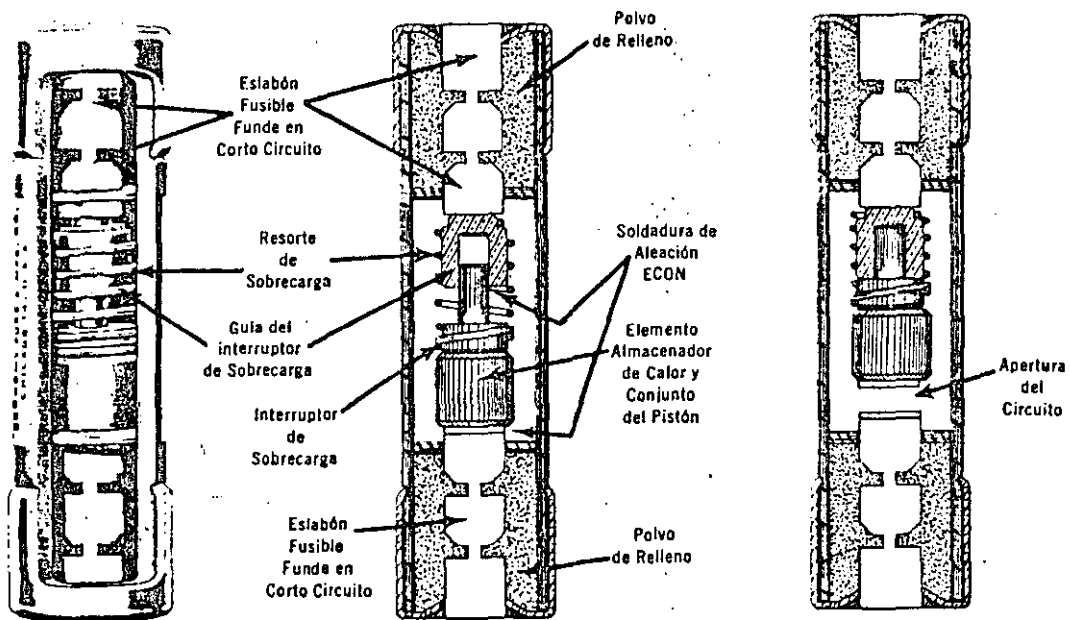
El personal y el equipo se encuentran protegidos por tubos de robusta fibra vulcanizada. La soldadura visible de los eslabones a los casquillos, garantiza su conexión eléctrica.

El tipo y capacidad de los fusibles está grabado en los casquillos.

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento Con Retraso de Precisión y Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM



FUSIBLES TIPO CASQUILLO - 0 A 9 AMPERES 250 Y 600 VOLTS



FUSIBLES TIPO CASQUILLO - 10 A 60 AMPERES 250 VOLTS; 10 A 30 AMPERES, 600 VOLTS

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

## Con Retraso de Precisión y

### Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM



#### TIPO DE NAVAJA

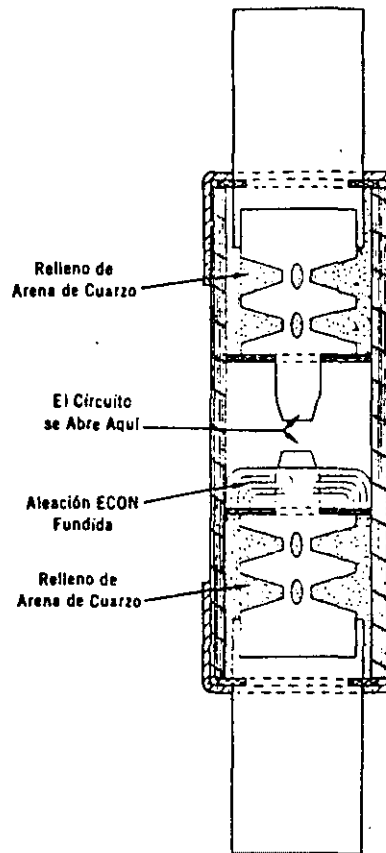
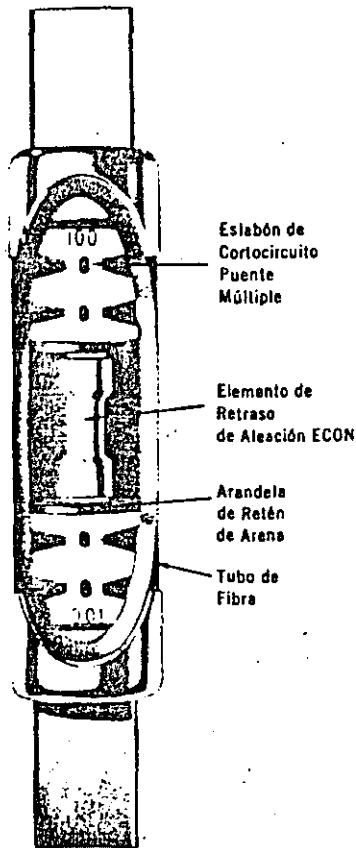
70 a 600 Amperes — 250 y 600 Volts.

Dos eslabones fusibles de corto-circuito están soldados por un proceso especial de colado a un elemento de retraso de aleación ECON y después remachados y soldados a las navajas de cobre de bordes redondeados. La ausencia de resortes en este diseño de fusibles ECON, produce una calibración mucho más precisa y consistente que otros diseños que dependen de resortes enrollados.

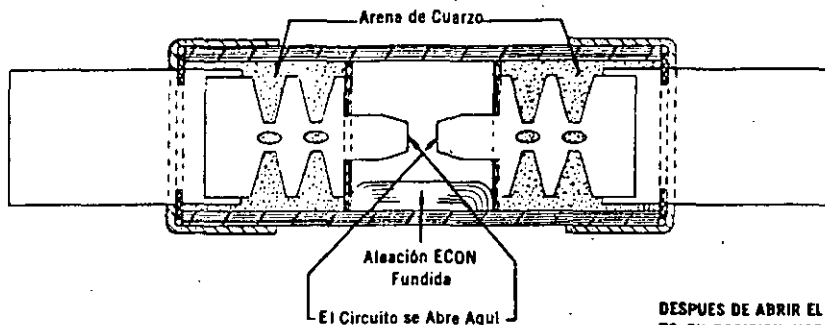
La producción de aleación ECON en grandes cantidades y

la fundición de precisión en volúmenes exactos, proporciona una consistencia inigualada de tiempo de fundido. Solamente la falta de espacio necesario, impide el uso de este diseño superior en capacidades inferiores excepto hasta a 60 amperes, 600 volts. La operación de un fusible de corto-circuito es la descrita en la página 1.

El personal y el equipo están protegidos contra la explosión de la caja bajo fuertes corrientes de falla por tuberías de fibra dura vulcanizada. El tipo y amperaje de los fusibles está estampado en los extremos de los casquillos.



DESPUES DE ABRIR EL CIRCUITO EN POSICION VERTICAL



DESPUES DE ABRIR EL CIRCUITO EN POSICION HORIZONTAL



CAPACIDAD, DIMENSIONES Y EMPAQUE - TAMAÑOS NORMALES

Amperes	250 VOLTS					600 VOLTS				
	Número de Catálogo	Dimensiones		Piezas de Cartón	Kgs. por 100 Piezas	Número de Catálogo	Dimensiones		Piezas de Cartón	Kgs. por 100 Piezas
		Longitud Total	Diámetro del Casquillo				Longitud Total	Diámetro del Casquillo		
.1	ECN.1	2"	3/8"	10	5	ECS.1	5"	1 1/8"	10	15
.15	ECN.15					ECS.15				
.2	ECN.2					ECS.2				
.3	ECN.3					ECS.3				
.4	ECN.4		ECS.4							
.5	ECN.5	2"	3/8"	10	5	ECS.5	5"	1 1/8"	10	15
.6	ECN.6					ECS.6				
.8	ECN.8					ECS.8				
1.0	ECN1.0					ECS1.0				
1.125	ECN1.125		ECS1.125							
1.25	ECN1.25	2"	3/8"	10	5	ECS1.25	5"	1 1/8"	10	15
1.4	ECN1.4					ECS1.4				
1.6	ECN1.6					ECS1.6				
1.8	ECN1.8					ECS1.8				
2.0	ECN2.0		ECS2.0							
2.25	ECN2.25	2"	3/8"	10	5	ECS2.25	5"	1 1/8"	10	15
2.5	ECN2.5					ECS2.5				
2.8	ECN2.8					ECS2.8				
3.0	ECN3.0					ECS3.0				
3.2	ECN3.2		ECS3.2							
3.5	ECN3.5	2"	3/8"	10	5	ECS3.5	5"	1 1/8"	10	15
4.0	ECN4.0					ECS4.0				
4.5	ECN4.5					ECS4.5				
5.0	ECN5.0					ECS5.0				
5.6	ECN5.6		ECS5.6							
6.25	ECN6.25	2"	3/8"	10	5	ECS6.25	5"	1 1/8"	10	15
7	ECN7					ECS7				
8	ECN8					ECS8				
9	ECN9					ECS9				
10	ECN10		ECS10							
12	ECN12	2"	3/8"	10	5	ECS12	5"	1 1/8"	10	15
15	ECN15					ECS15				
17.5	ECN17.5					ECS17.5				
20	ECN20					ECS20				
25	ECN25		ECS25							
30	ECN30		ECS30							
35	ECN35	3"	1 1/8"	10	11	ECS35	5 1/2"	1 1/8"	10	24
40	ECN40					ECS40				
45	ECN45					ECS45				
50	ECN50					ECS50				
60	ECN60		ECS60							
70	ECN70	5 1/2"	ANCHO DE LA NAVAJA	5	30	ECS70	7 1/2"	ANCHO DE LA NAVAJA	5	48
80	ECN80		1/4"			ECS80		1/4"		
90	ECN90					ECS90				
100	ECN100					ECS100				
110	ECN110	7 1/2"	1 1/2"	1	80	ECS110	9 1/2"	1 1/2"	1	122
125	ECN125					ECS125				
150	ECN150					ECS150				
175	ECN175					ECS175				
200	ECN200		ECS200							
225	ECN225	8 1/2"	1 3/4"	1	170	ECS225	11 1/2"	1 3/4"	1	315
250	ECN250					ECS250				
300	ECN300					ECS300				
350	ECN350					ECS350				
400	ECN400		ECS400							
450	ECN450	10 1/2"	2"	1	290	ECS450	13 1/2"	2"	1	500
500	ECN500					ECS500				
600	ECN600					ECS600				

FUSIBLES MINIATURA Dimensiones: Longitud total 38 mm. (1 1/2"); Diámetro del Casquillo 10.3 mm. (13/32")

Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo	Amperes	Número de Catálogo
32 VOLTS		250 VOLTS		250 VOLTS		250 VOLTS	
20	MEN20	.1	MEN.1	1.25	MEN1.25	4	MEN4
25	MEN25	.15	MEN.15	1.4	MEN1.4	4.5	MEN4.5
30	MEN30	.2	MEN.2	1.6	MEN1.6	5	MEN5
		.3	MEN.3	1.8	MEN1.8	5.6	MEN5.6
		.4	MEN.4	2.0	MEN2.0	5.25	MEN6.25
125 VOLTS		.5	MEN.5	2.25	MEN2.25	7	MEN7
		.6	MEN.6	2.5	MEN2.5	8	MEN8
12	MEN12	.8	MEN.8	2.8	MEN2.8	9	MEN9
15	MEN15	1.0	MEN1.0	3.2	MEN3.2	10	MEN10
		1.125	MEN1.125	3.5	MEN3.5		

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

Con Retraso de Precisión y

Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

CLASE  
1330



## SELECCION DE FUSIBLES PARA MOTORES POR NUMERO DE CATALOGO Y AMPERES

N. P.	SERVICIO SIMBOLO	MOTORES MONOFASICOS			MOTORES TRIFASICOS									MOTORES DE DOS FASES						
		115V. ECN	230V. ECN	440V. ECS	TIPO DE INDUCCION				SINCRONICOS F. P. UNITARIO			TIPO DE INDUCCION				SINCRONICOS F. P. UNITARIO				
					110V. ECN	220V. ECN	440V. ECS	550V. ECS	220V. ECN	440V. ECS	550V. ECS	110V. ECN	220V. ECN	440V. ECS	550V. ECS	220V. ECN	440V. ECS	550V. ECS		
1/8	NORMAL	4.5	2.25																	
	PESADO 40° C	4.5 5.0	2.5 2.8																	
1/4	NORMAL	6.25	3.0																	
	PESADO 40° C	6.25 7.0	3.2 3.5																	
1/2	NORMAL	10	5.0		4	2	1	.8					4	2	1.12	.8				
	PESADO 40° C	12 12	5.6 5.6		4.5 5	2.25 2.5	1.12 1.25	1					4.5 5	2.25 2.5	1.12 1.25	1				
3/4	NORMAL	15	7		5.6	2.8	1.4	1.12					5	2.5	1.25	1				
	PESADO 40° C	15 17.5	8 9		6.25 7	3.2 3.5	1.6 1.8	1.25 1.4					5.6 6.25	2.8 3.2	1.4 1.6	1.12 1.25				
1	NORMAL	17.5	8		7	3.5	1.8	1.4					7	3.2	1.6	1.4				
	PESADO 40° C	20 20	9 10		8 9	4 4.5	2 2.25	1.6 1.8					8 8	3.5 4	1.8 2	1.6 1.8				
1 1/2	NORMAL	20	10		10	5	2.5	2					9	4.5	2.25	1.8				
	PESADO 40° C	25 25	12 12		12 12	5.6 6.25	2.8 3.2	2.25 2.5					10 12	5 5.6	2.5 2.8	2 2.25				
2	NORMAL	25	12		15	6.25	3.2	2.8					12	5.6	2.8	2.25				
	PESADO 40° C	30 30	15 15		15 17.5	7 8	3.5 4	2.8 3.5					12 15	6.25 7	3.2 3.5	2.5 2.8				
3	NORMAL	35	17.5		9	4.5	4						8	4	3.2					
	PESADO 40° C	40 45	20 20		10 12	5 5.6	4.5 5						9 10	4.5 5	3.5 4					
5	NORMAL	60	30		15	8	6.25						15	7	6.25					
	PESADO 40° C	70 70	35 35		17.5 20	9 9	7 8						15 17.5	8 9	7 8					
7 1/2	NORMAL	80	40	20	25	12	9						20	9	8					
	PESADO 40° C	90 100	45 50	25 25	25 30	15 15	10 12						20 25	10 12	9 10					
10	NORMAL	100	50	25	30	15	12						25	12	10					
	PESADO 40° C	110 125	60 60	30 35	35 35	17.5 17.5	12 15						30 30	15 15	12 12					
15	NORMAL				40	20	17.5						35	17.5	15					
	PESADO 40° C				45 50	25 25	20 20						40 45	20 20	17.5 17.5					
20	NORMAL				60	30	25						45	25	17.5					
	PESADO 40° C				60 70	30 35	25 25						50 60	25 30	20 20					
25	NORMAL				70	35	30	60	30	25			60	30	25	50	25	20		
	PESADO 40° C				80 80	40 40	30 35	60 70	30 35	25 30			60 70	35 35	25 30	60 60	30 30	25 25		
30	NORMAL				80	40	35	70	35	25			70	35	30	60	30	25		
	PESADO 40° C				90 100	45 50	40 40	80 80	40 40	30 35			80 90	40 45	30 30	70 70	35 40	30 30		
40	NORMAL				110	50	45	90	45	35			90	45	35	80	40	35		
	PESADO 40° C				125 125	60 70	45 50	100 110	50 60	40 45			100 110	50 60	40 45	90 100	45 50	35 40		
50	NORMAL				125	70	50	110	60	45			110	60	45	100	50	40		
	PESADO 40° C				150 175	70 80	60 70	125 150	60 70	50 60			125 150	60 70	50 60	110 125	60 70	45 50		
60	NORMAL				150	80	60	125	70	50			150	70	60	110	60	45		
	PESADO 40° C				175 200	90 100	70 80	150 175	70 80	60 70			150 175	80 90	60 70	125 150	70 70	50 60		
75	NORMAL				200	100	80	175	80	70			175	80	70	150	70	60		
	PESADO 40° C				225 250	110 125	90 100	200 200	90 100	80 80			175 200	90 100	70 80	175 175	80 90	70 70		
100	NORMAL				250	125	100	225	110	90			225	110	90	200	100	80		
	PESADO 40° C				300 300	150 150	110 125	250 250	125 125	100 110			250 250	125 125	100 110	225 250	110 125	90 100		
125	NORMAL				300	175	125	300	150	110			300	150	110	225	125	100		
	PESADO 40° C				350 400	200 200	150 150	300 350	150 175	125 125			300 350	150 175	125 150	250 300	125 150	110 125		
150	NORMAL				350	200	150	350	175	125			350	175	125	150	110	100		
	PESADO 40° C				400 450	225 225	175 200	400 400	175 175	150 150			400 400	175 200	150 150	200 200	150 150	125 125		
200	NORMAL				500	250	200	500	225	175			450	225	175	200	150	110		
	PESADO 40° C				600 600	300 300	225 230	600 600	225 225	175 175			500 500	250 250	200 225	200 250	150 150	125 125		

El número de catálogo consiste en el símbolo ECN hasta 250 volts y ECS hasta 600 volts, seguido de la capacidad en amperes.

Factores de corrección de temperatura ambiente para fusibles ECON con elemento doble.

Temperatura Ambiente		Capacidad del Fusible en %	Tiempo de Fusión en %
°C	°F		
-60	-76	120	135
-40	-40	117	130
-20	-4	113	125
0	32	108	120
20	68°	103°	105
25	77°	100°	100
30	86°	98°	95
40	104°	95°	85
60	140	85	70
80	176	75	50
100	212	60	35

\*No se requiere corrección en este intervalo.

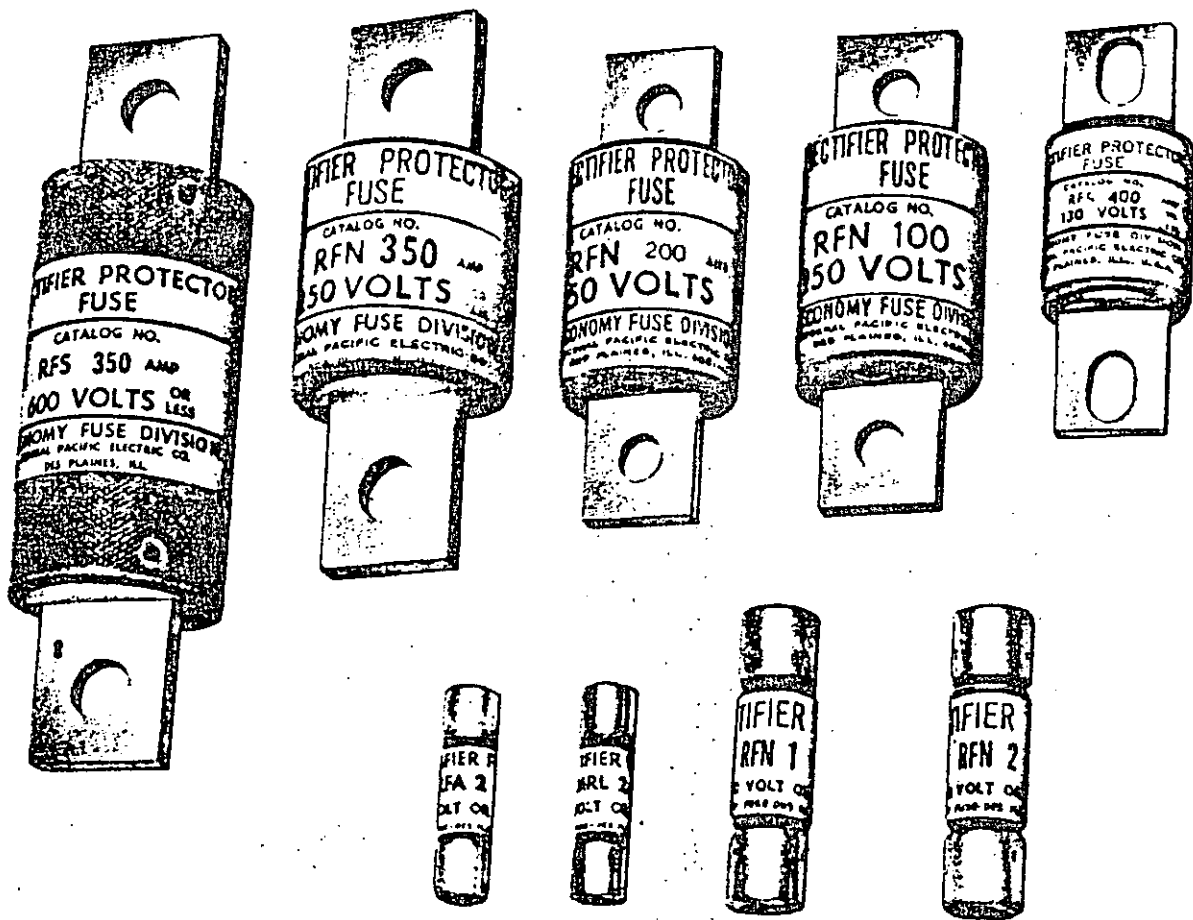
La capacidad de los fusibles ECON de doble elemento está calibrada para soportar 110% de su capacidad sin caja entre 70° F y 80° F de temperatura ambiente.

Las cifras de la tabla de arriba son aproximadas y están afectadas por varios factores como el tipo de equipo, estado de los clips, circulación de aire, etc.

# Fusibles tipo RF para Rectificadores

## Símbolos RFA, RFN, RFV y RFS

CLASE  
1312 A



### CARACTERÍSTICAS DE CORRIENTE

Los fusibles tipo RF representan lo último en el arte de los fusibles. Estos fusibles son diseñados para ser los limitadores de corriente de más alto grado. Ellos alcanzan esta capacidad limitadora con cuatro veces aproximadamente, su valor nominal, sosteniéndose su capacidad normal sin ninguna dificultad. Este alto grado de limitación de corriente se demuestra en los valores muy bajos de corriente máxima de fuga y valores de energía I<sup>2</sup>t.

### CONSTRUCCIÓN

El principio bajo el cual operan estos fusibles es el que usa estabones de plata pura con puentes extremadamente angostos. Cada eslabón está reforzado entre terminales relativas, por medio de masas de cobre o aleación de cobre plateado. Los puentes angostos están capacitados para conducir la corriente nominal, ya que las masas terminales conducen y disipan el calor generado, permitiendo una operación fría del fusible. Sin embargo los incrementos rápidos de corriente no serán disipados y los eslabones se fundirán rápidamente bajo tales condiciones. En adición los tubos exteriores de melamina impregnada con tela de

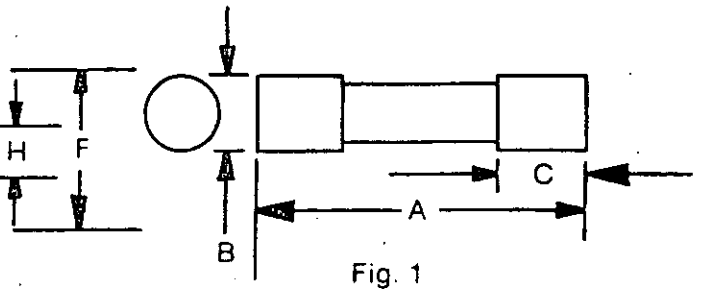
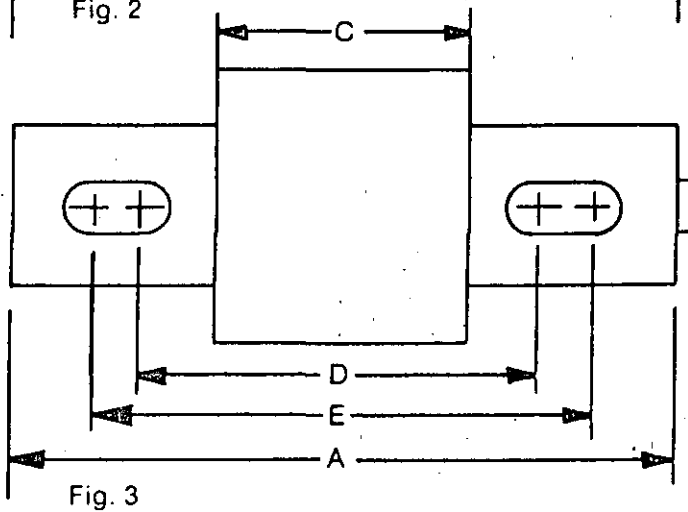
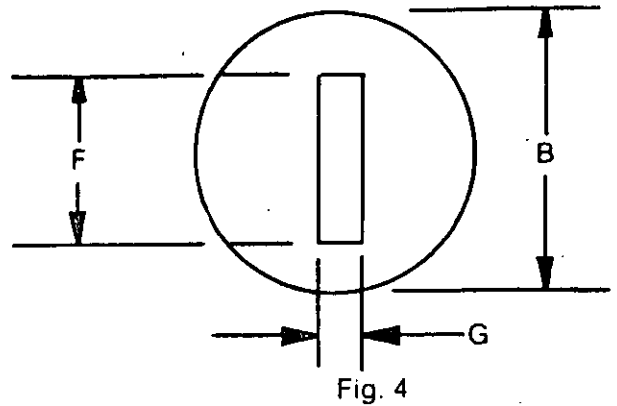
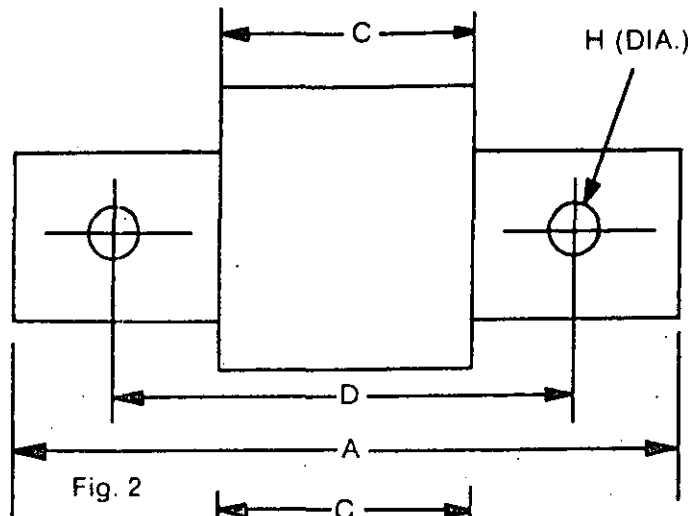
vidrio proveen el más alto grado de esfuerzo mecánico, resistencia al calor y aislamiento eléctrico en todos los fusibles de más alta capacidad de corriente. Este método de construcción facilita que los fusibles sean más pequeños que los de dimensiones normales, que van desde el miniatura de 1-1/2" x 13/32" hasta aproximadamente 6" x 2-3/8" para los tamaños más grandes.

### APLICACION

Los fusibles tipo RF son idealmente adecuados para uso en:

- Sistemas impulsores de velocidad variable. Controles de motores para transportadores, máquinas rotatorias, máquinas herramientas.
- Cargadores de baterías para baterías industriales. Montacargas, transportadores de baterías para personal, etc.
- Suministros de fuerza de control en unidades de control de temperatura para calefacción y enfriamiento.
- Suministros de fuerza para galvanoplastia. Inversores de corriente de C.A. a C.D.
- Protección de SCR's, Rectificadores, diodos y thyristors.
- Dispositivos de control electrónico, varios.





FUSIBLES RFA (130 Volts)

Amps	Fig.	DIMENSIONES EN PULGADAS							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1-30	1	1 1/2	13/32	3/8	—	—	—	—	—
35-60	1	2	13/16	9/16	—	—	—	—	—
70-400	3,4	2 21/32	1	15/32	129/32	23/16	3/4	3/16	5/64
500-1000	2,4	3 1/2	1 1/2	1 1/4	27/16	—	1	1/4	27/64

FUSIBLES RFN (250 VOLTS)

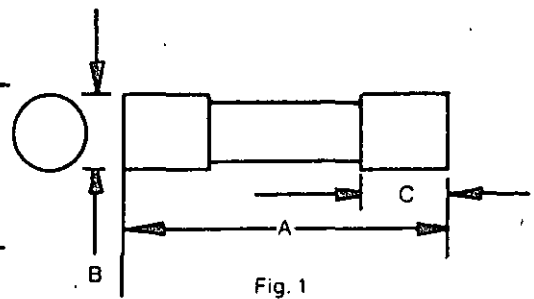
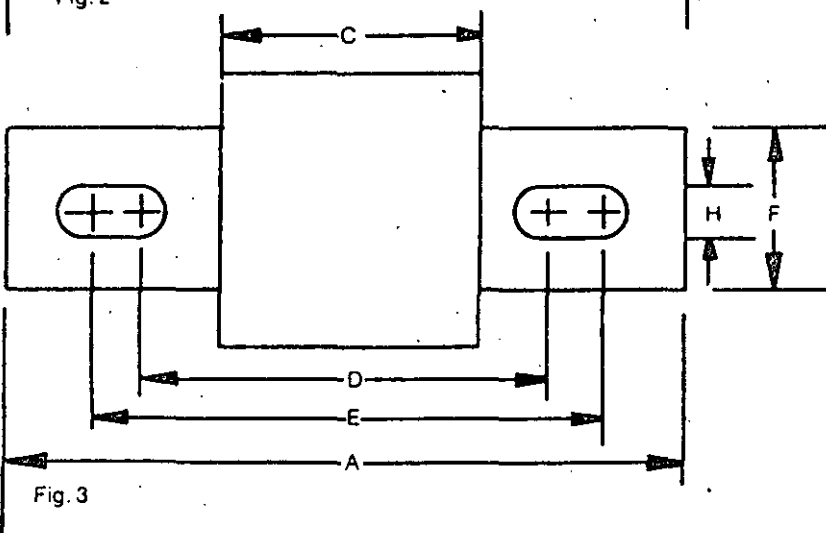
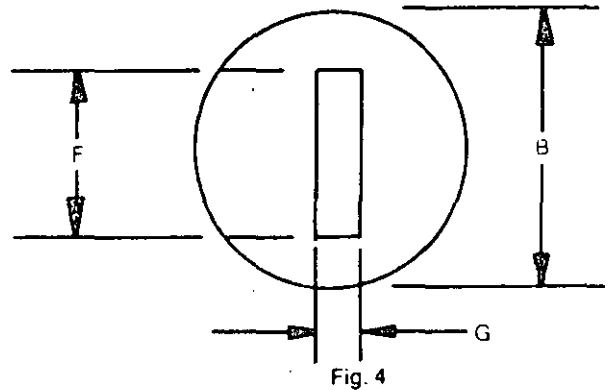
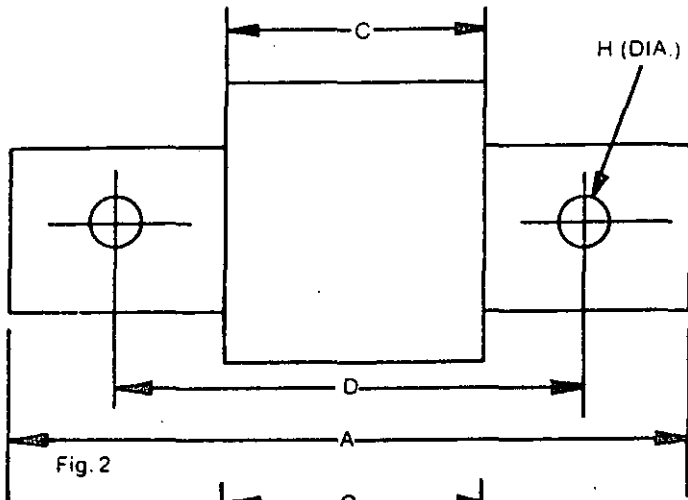
Amps.	Fig.	DIMENSIONES EN PULGADAS							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1-30	1	2	9/16	1/2	—	—	—	—	—
40-60	2,4	33/16	3/4	19/16	27/16	—	19/32	1/8	11/32
70-200	2,4	3 1/8	17/32	1 19/32	23/8	—	13/16	3/16	5/16
250-800	2,4	3 27/32	1 1/2	1 19/32	225/32	—	1	1/4	27/64

Nota: Los fusibles MRL (130 Volts) de 1 a 30 Amps. son de las mismas dimensiones que los RFA de 1 a 30 Amps.

# Fusibles tipo RF para Rectificadores

## Símbolos RFA, RFN, RFV y RFS

CLASE  
1312 A



### FUSIBLES RFV (500 VOLTS)

Amps.	Fig.	DIMENSIONES EN PULGADAS							
		A	B	C	D	E	F	G	H
40-60	2,4	$3\frac{3}{16}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{9}{16}$	$2\frac{7}{16}$	—	$\frac{19}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{32}$
70-100	2,4	$3\frac{5}{8}$	1	$2\frac{1}{8}$	$2\frac{7}{8}$	—	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{16}$
125-200	2,4	$3\frac{5}{8}$	$1\frac{7}{32}$	$2\frac{1}{8}$	$2\frac{7}{8}$	—	$\frac{13}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{16}$
250-400	2,4	$4\frac{11}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{32}$	$3\frac{9}{32}$	—	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{27}{64}$
450-600	3,4	$4\frac{15}{32}$	2	$2\frac{7}{32}$	$3\frac{9}{32}$	$3\frac{17}{32}$	$1\frac{5}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{13}{32}$
650-800	3,4	$6\frac{15}{32}$	$2\frac{3}{8}$	$2\frac{7}{32}$	$4\frac{5}{16}$	$4\frac{5}{8}$	2	$\frac{3}{8}$	$\frac{17}{32}$

### FUSIBLES RFS (600 VOLTS)

Amps.	Fig.	DIMENSIONES EN PULGADAS							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1-30	1	5	$\frac{13}{16}$	$\frac{9}{16}$	—	—	—	—	—
35-60	2,4	$4\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$3\frac{5}{8}$	—	$\frac{19}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{32}$
65-100	2,4	$4\frac{13}{32}$	1	$2\frac{29}{32}$	$3\frac{21}{32}$	—	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{16}$
125-200	2,4	$4\frac{13}{32}$	$1\frac{7}{32}$	$2\frac{29}{32}$	$3\frac{21}{32}$	—	$\frac{13}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{16}$
225-400	2,4	$5\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{8}$	$4\frac{1}{16}$	—	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{27}{64}$
450-600	3,4	$5\frac{1}{8}$	2	$2\frac{1}{8}$	$3\frac{15}{16}$	$4\frac{3}{16}$	$1\frac{5}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{13}{32}$

# Fusibles tipo RF para Rectificadores

## 1312 A Símbolos RFA, RFN, RFV y RFS



## CAPACIDADES NORMALES. EMPAQUE

AMPS Volts	Símbolo	Capacidades Normales, Amps.	Cantidades en Empaque Normal	Pre. Unitaria por Unidad
130	MRL	1,2,3,4,5,6,7,8,10,12,15,20,25 y 30	10	\$ 34.00
130	RFA	1,2,3,4,5,6,7,8, 10,12,15,20,25,30 35,40,45,50,55,60 70,80,100,150,200,250,300,350,400	10	\$ 34.00 75.00 140.00
		500,600,800,1000	5	285.00
250	RFN	1,2,4,5,6,7,8,10,12,15,20,25,30 40,50,60	10	39.50 135.00
		70,80,100,150,200 250,300,350,400,600,800	5	175.00 212.00
500	RFV	40,50,60 70,80,90,100	10	\$ 107.50 130.00
		125,150,175,200 250,300,350,400	5	200.00 270.00
		450,500,550,600 650,800	1	375.00
600	RFS	1,2,4,5,6,7,8,10,15,20,25,30 35,40,45,50,55,60 65,70,80,100	10	\$ 102.00 130.00 170.00
		125,150,175,200 225,250,300,350,400	5	250.00 350.00
		450,500,550,600	1	500.00
700 ó más — No disponible a la fecha			—	—

## TABLA COMPARATIVA CON OTROS FABRICANTES

VOLTS	Buss "TRON"	Chase "FORM 101"	FPE "TipoRF"
130	KAW	no	MRL
130	KAA	AL3X	RFA
130	KAH 35-60	A13x35-60	RFA35-60
250	KAB	A25x	RFN
500	KBH	A50p	RFV
600	KBC	A60X	RES
600	KAJ (35-60), KAC	no	no
700	no	A70p	no

## Como Seleccionar el Fusible Adecuado

Información Requerida: La selección adecuada de los fusibles "RF" requiere las consideraciones siguientes:

- 1.- Las curvas tiempo- corriente del fusible.
- 2.- El voltaje pico ó RMC en el fusible durante la interrupción.
- 3.- Limite de sobretención, aceptable en la celda.
- 4.- Limite de amperes<sup>2</sup> segs. aceptable en la celda.
- 5.- Limite de corriente pico aceptable en la celda.
- 6.- Corriente de falla máxima que el fusible debe interrumpir (pico asimétrico), corriente pico asimétrico = Corriente RCM  $\times \sqrt{2} \times 1.6$  = aproximadamente 2.3 corriente., simétrica RCM.

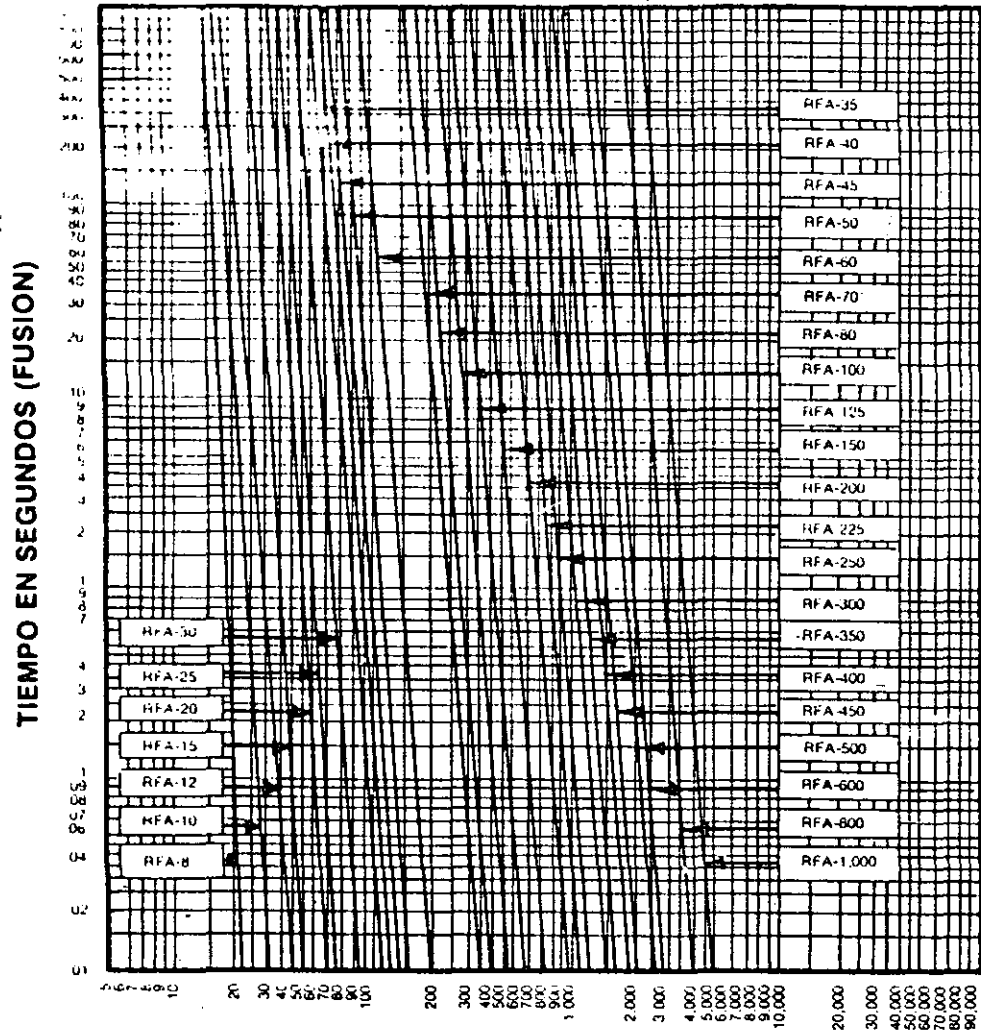
Debido a la gran posibilidad de diferentes arreglos de circuitos y otras variables, FPE sugiere la siguiente guía para la selección adecuada del fusible Econolim "Tipo RF".

Selección de Fusibles ECONOLIM "Tipo RF" para la Protección de Celdas.

- 1.- El fusible RF debe tener la capacidad en amperes adecuado o por encima de la corriente permanente valor RMC y ésta nunca debe exceder la capacidad del fusible.
- 2.- El voltaje pico inverso (RPV) del fusible RF, valor nominal representa el voltaje máximo al cual se puede aplicar el fusible  $PRV = RMC \text{ volts} \times \sqrt{2}$ .
- 3.- Verifique para el fusible RF seleccionado, que el voltaje de arqueo al voltaje máximo de operación está dentro de la tolerancia de la celda por sobretención.
- 4.- Seleccione el valor de la energía de fuga  $1^{2t}$  para el fusible supuesto a operar dentro de las características y condiciones del circuito.
- 5.- Determine el valor de la energía de fuga  $1^{2t}$  del semiconductor y el valor  $1^{2t}$  a pleno voltaje (valor máximo) del fusible debe estar por abajo de la tolerancia de la celda en amperes<sup>2</sup> segs.
- 6.- Asegúrese de que el valor de corriente de fuga del fusible es menor que el de la tolerancia de la celda.

Coordinación:

Cuando se emplea fusibles miniatura ECONOLIM MCL o fusibles limitadores de corriente "clase H" en líneas de entrada de C.A. o en líneas de salida de C.D. se debe tener especial cuidado para coordinar con los fusibles RF. La regla básica es que el  $1^{2t}$  de los fusibles principales sea igual al  $1^{2t}$  por celda multiplicado por el número de fusibles en paralelo al cuadro.

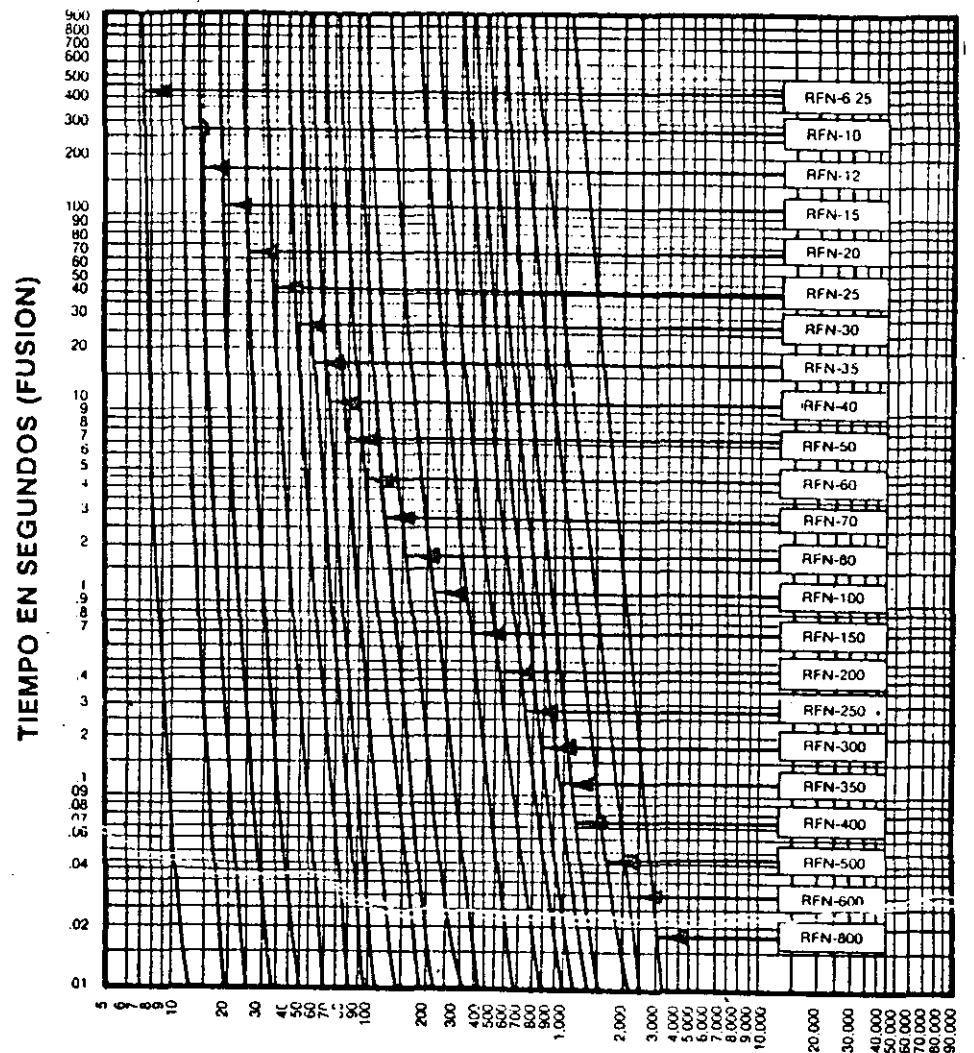


TIPO RFA

CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

Curvas Tiempo Corriente (130 Volts RMS)

FUSIBLE 8-1000

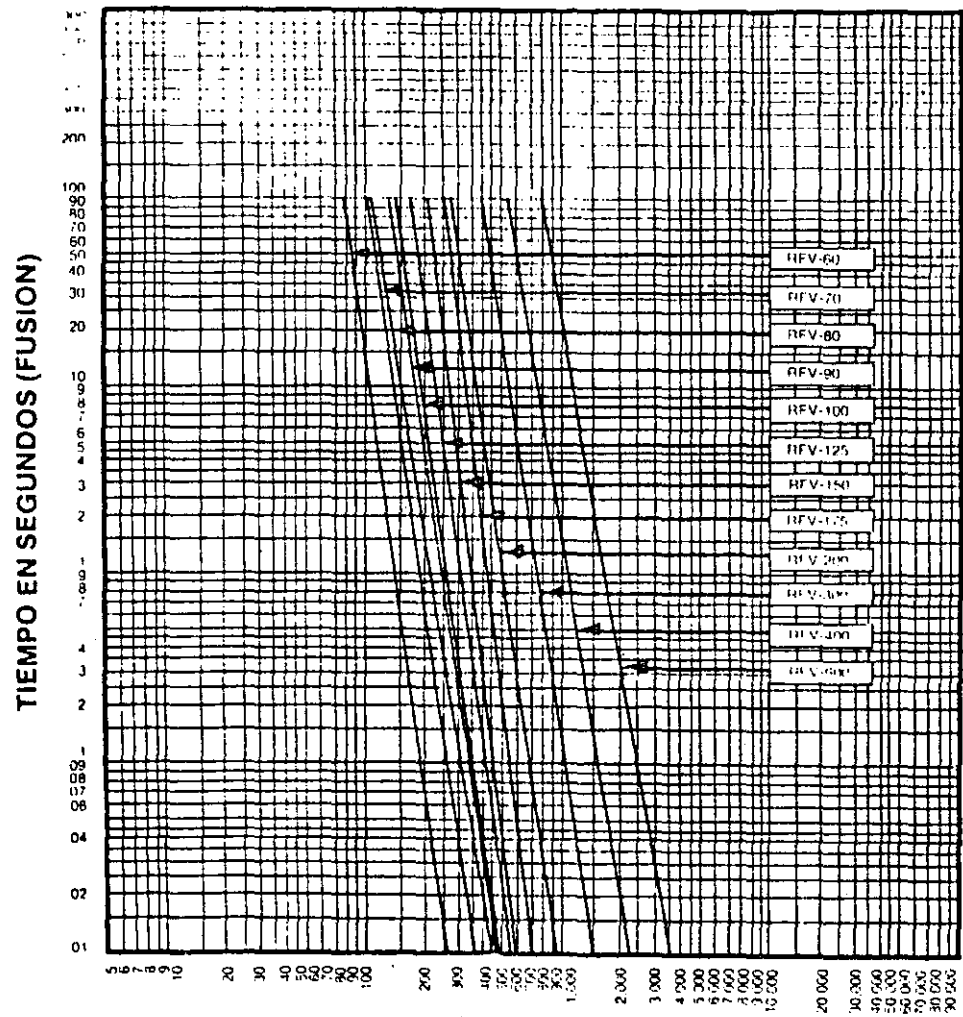


TIPO RFN

CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

Curvas Tiempo Corriente (250 Volts RMS)

FUSIBLE 6.25-800

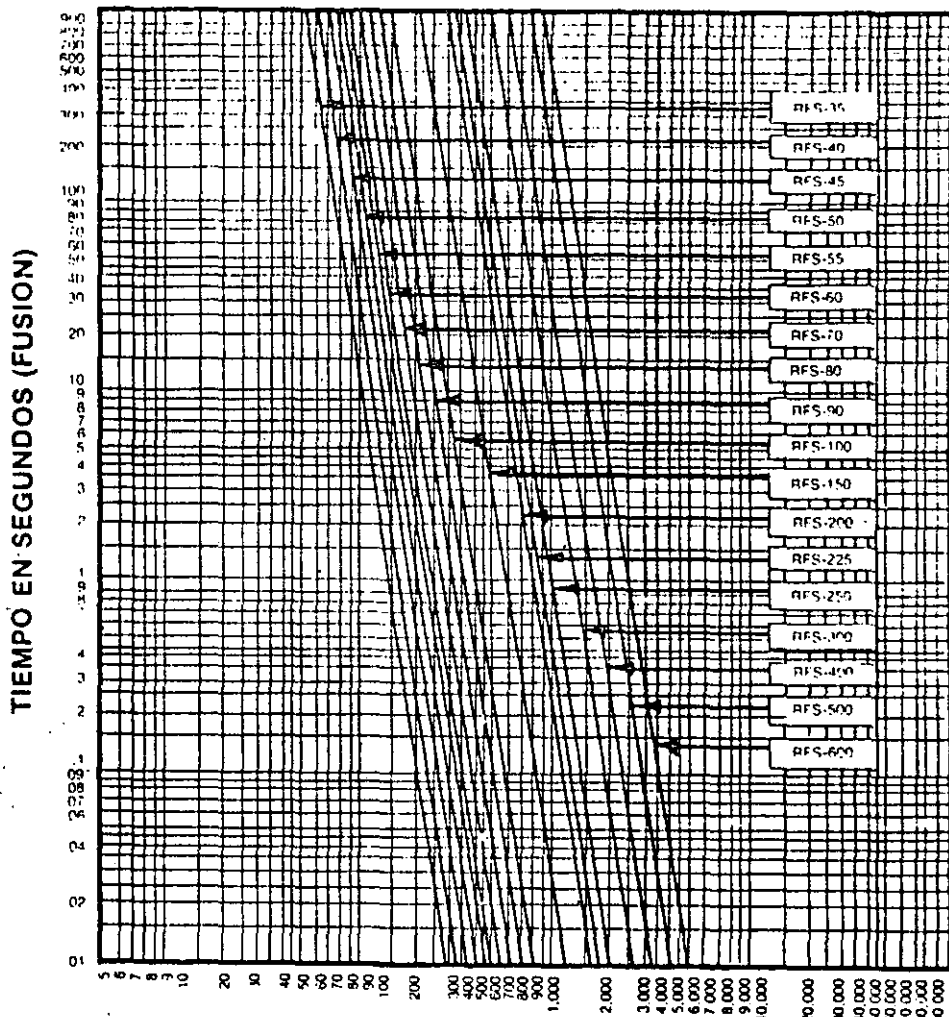


TIPO RFV

CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

Curvas Tiempo Corriente (500 Volts RMS)

FUSIBLE 60-6000



TIPO RFS

CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

Curvas Tiempo Corriente (600 Volts RMS)

FUSIBLE 35-6000

## Fusibles tipo RF para Rectificadores

Amps. Fusible	FUSIBLES RFA 130 VOLTS		FUSIBLES RFN 250 VOLTS		FUSIBLES RFV 500 VOLTS		FUSIBLES RFS 600 VOLTS	
	Fusión 1/1 .01 sec. Fusión	Apertura Total 1/1 10KA. 250V. 20% F.P.	Fusión 1/1 .01 sec. Fusión	Apertura Total 1/1 10KA. 130V. 20% F.P.	Fusión 1/1 .02 sec. Fusión	Apertura Total 1/1 10KA. 500V. 20% F.P.	Fusión 1/1 .01 sec. Fusión	Apertura Total 1/1 10KA. 600V. 20% F.P.
1	.	.	.	.	.	.	.4	1.2
2	.	.	.	.	.	.	.8	3
4	.	.	.	.	.	.	1.2	5
5	.	.	.	.	.	.	2.6	10
6	1.7	3.5	1.7	5	.	.	4	16
7	2.5	5	2.5	7.5	.	.	6	25
8	3.5	7	3.5	10.5	.	.	9	40
10	4	8	4	12	.	.	12	50
12	8	16	8	24	.	.	18	80
15	10	20	10	30	.	.	30	120
20	20	40	20	60	.	.	45	180
25	38	80	38	120	.	.	85	300
30	67	140	67	210	.	.	100	400
35	120	250	100	300	200	800	225	900
40	140	300	120	380	300	1000	320	1500
50	200	400	200	600	800	3000	900	4000
60	320	700	300	900	1000	5000	1450	6000
70	1100	3300	480	2200	1300	7000	3000	10000
80	1360	4200	900	4500	1800	10000	4000	12000
100	2100	6500	1300	7500	2500	14000	6700	20000
Las cifras arriba de estas lineas se deben multiplicar por 10,000								
150	.52	1.5	.33	1.4	.36	2.6	1.3	4.0
200	.81	2.4	.55	2.2	.84	4.2	2.7	4.0
250	1.4	4.2	1.0	3.4	1.3	6.0	4.0	12.0
300	2.0	6.0	1.3	4.6	2.2	8.5	5.8	18
350	2.9	9.0	1.7	7.5	3.3	12	9	28
400	3.5	11	2.3	11	4.8	18	10	30
600	7.5	22	5.2	24	13	45	25	75
800	14	40	10	45	—	—	—	—
1000	23	70	—	—	—	—	—	—

\* Apertura total

\* No disponible a la fecha en Federal Pacific Electric de México, S A de C.V.

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

## Con Retraso de Precisión y

## Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

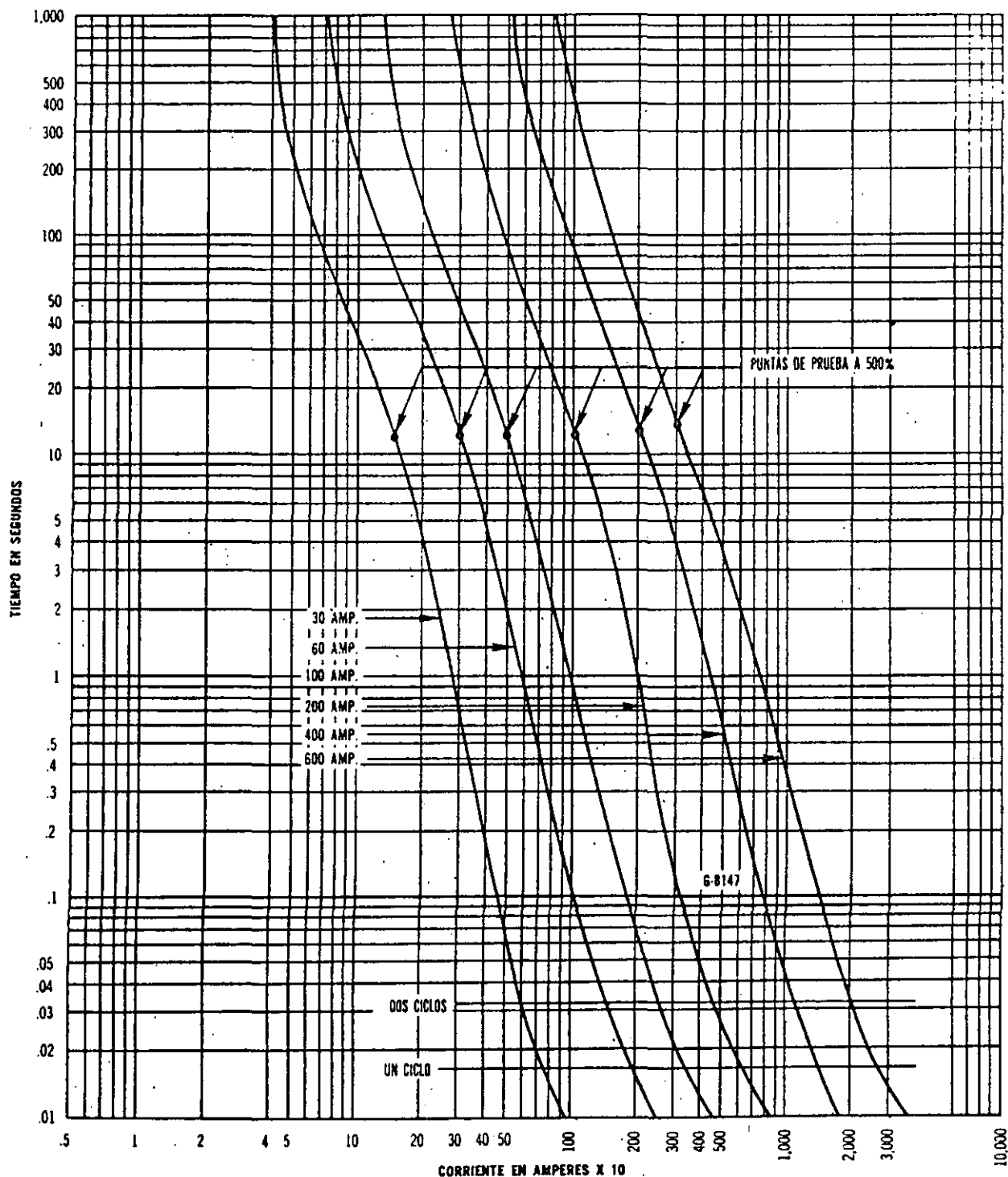
CLASE  
1330



ECN

CLASE RK 5

CURVAS CARACTERISTICAS PROMEDIO TIEMPO-CORRIENTE - 0 a 600 Amp. 250 Volts.







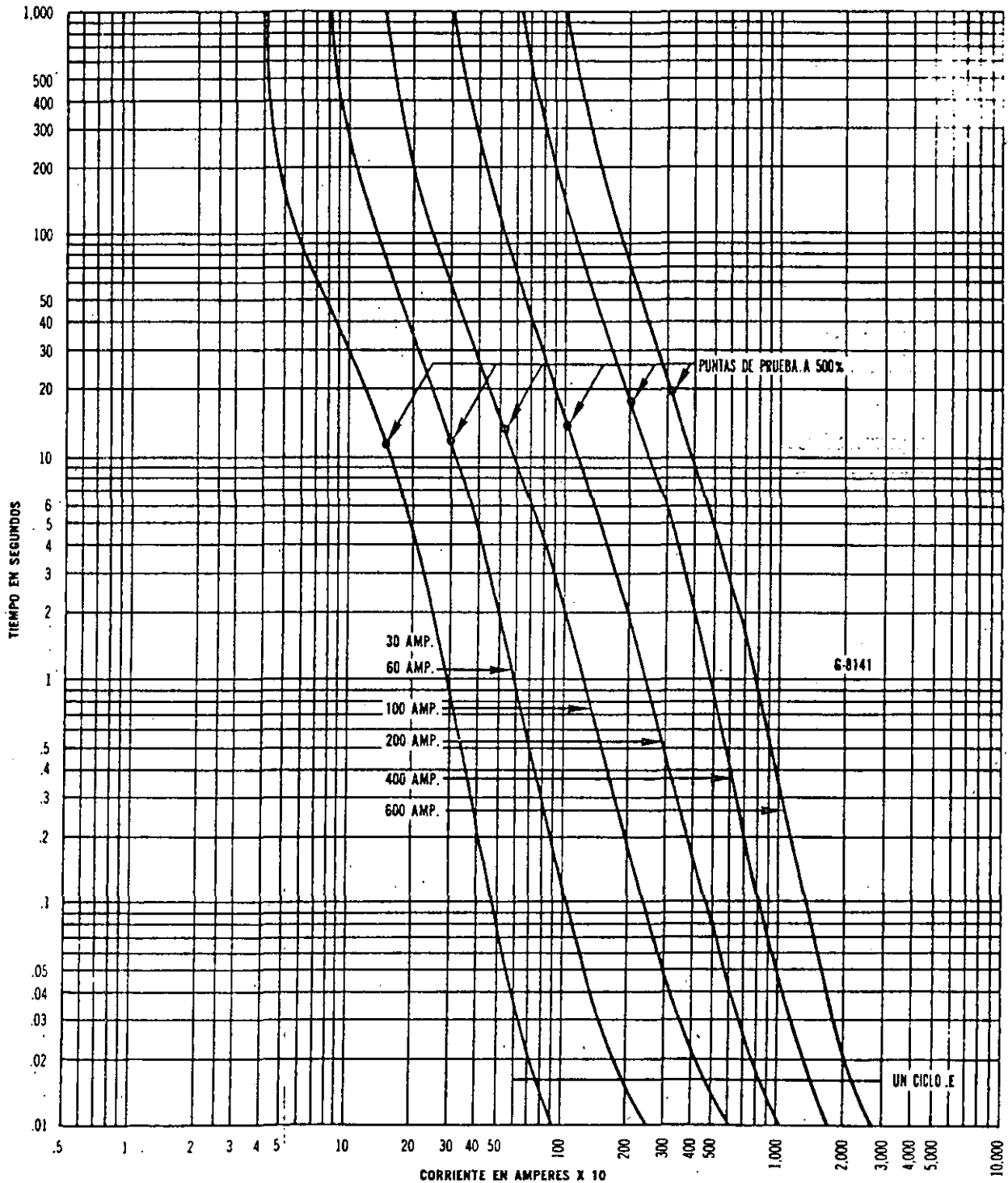
# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

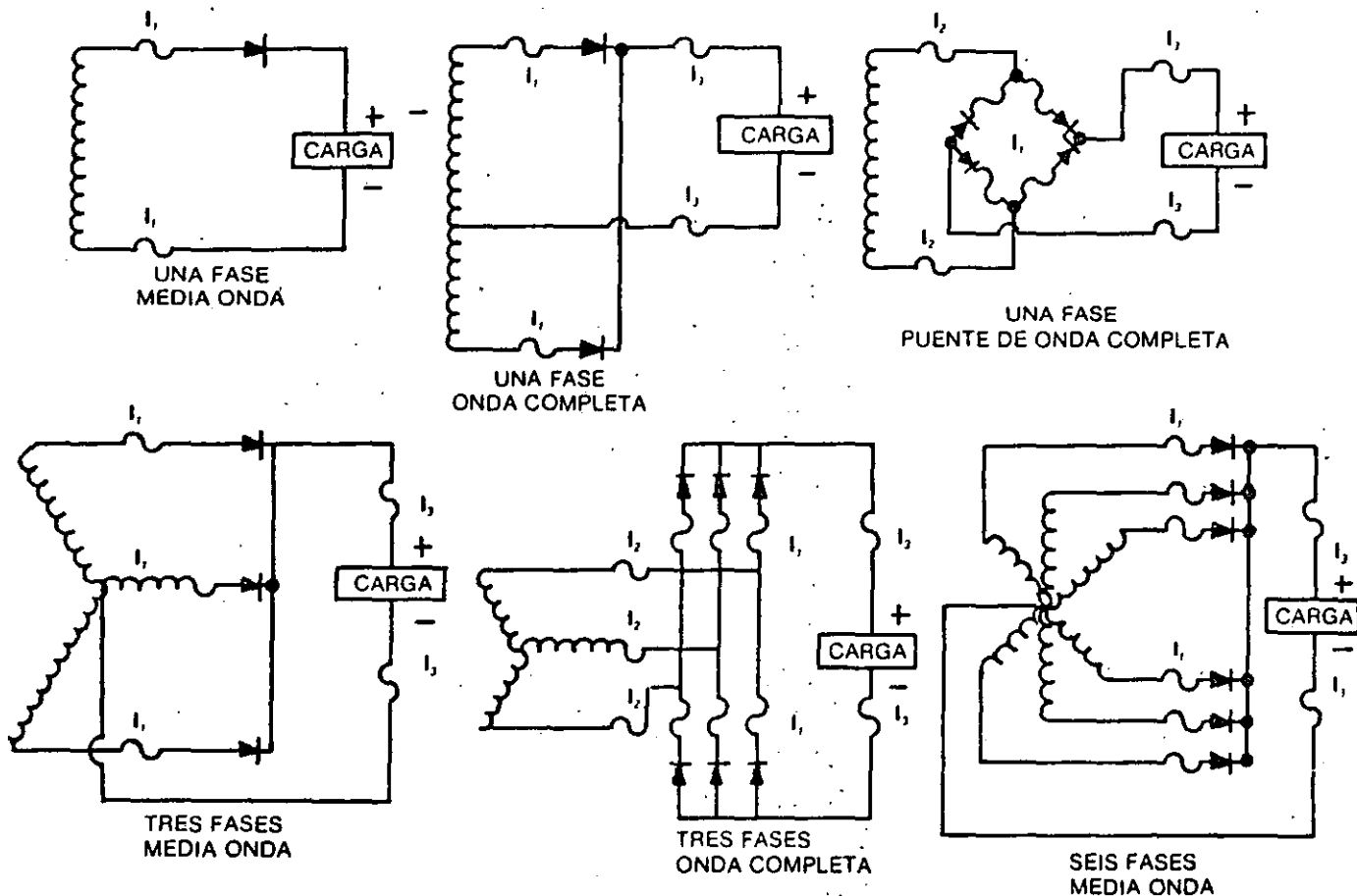
Con Retraso de Precisión y  
Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

ECS

CLASE RK 5

CURVAS CARACTERISTICAS PROMEDIO TIEMPO-CORRIENTE - 0 a 600 Amp. 600 Volts.





TIPO DE CIRCUITO	PORCIENTO DE CORRIENTE (C.D.)		
	$I_1$ RMC	$I_2$ RMC	$I_3$ RMC
Una fase - media onda	160	—	—
Una fase - onda completa	80	—	111
Una fase - onda completa	80	111	111
Tres fases - media onda	60	—	102
Tres fases - media onda	60	85	100
Seis fases - media onda	43	—	100

El porciento indicado es con carga resistiva.

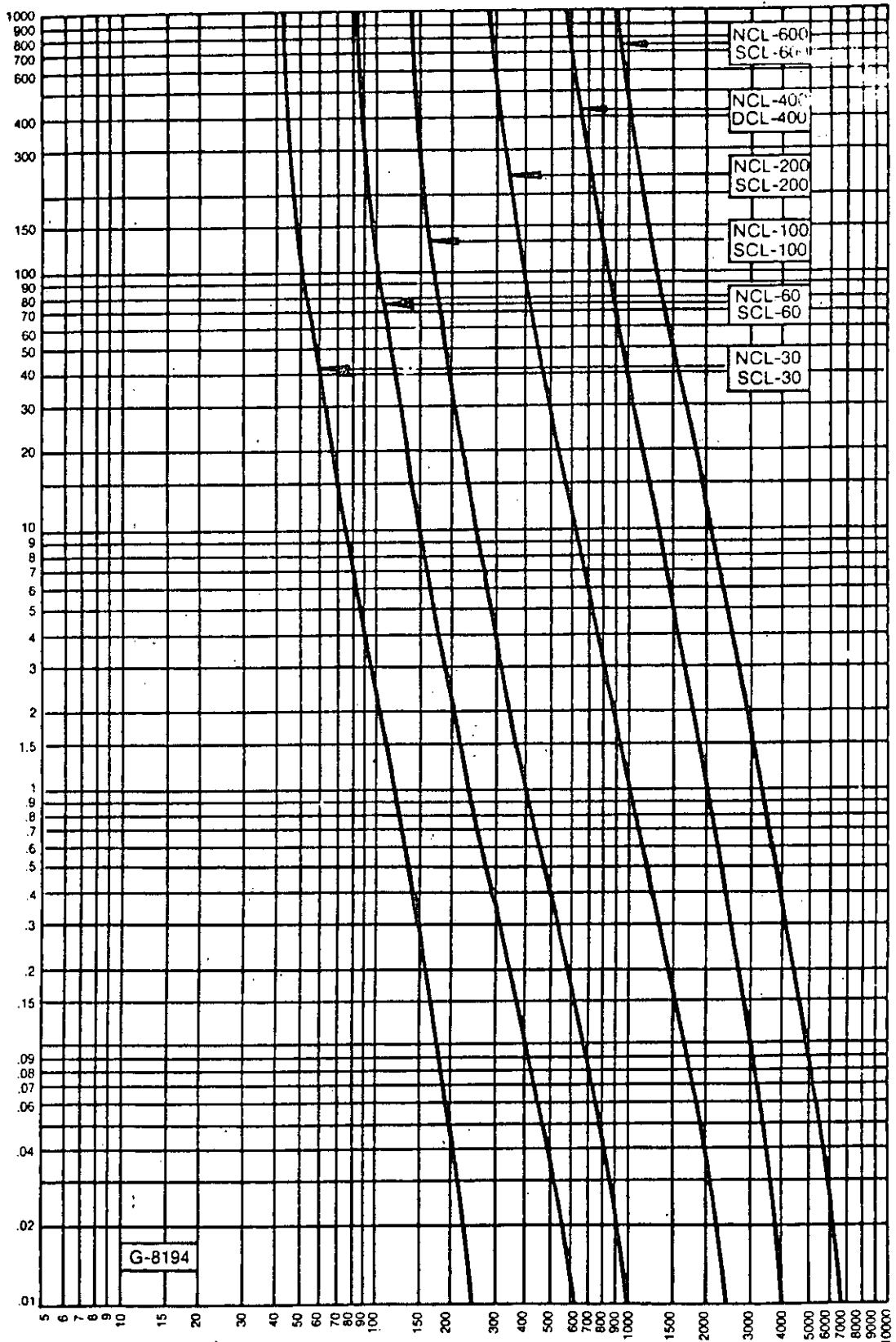
Al rebasar los valores de voltaje y corriente nominales se recomienda idear diferentes combinaciones de conexiones serie paralelo entre semi conductores y fusibles que pueden resultar ventajosos.

# Fusibles Limitadores de Energía

## Símbolo NCL y SCL. Clase K-1 de U.L.



TIEMPO DE FUSION EN SEGUNDOS



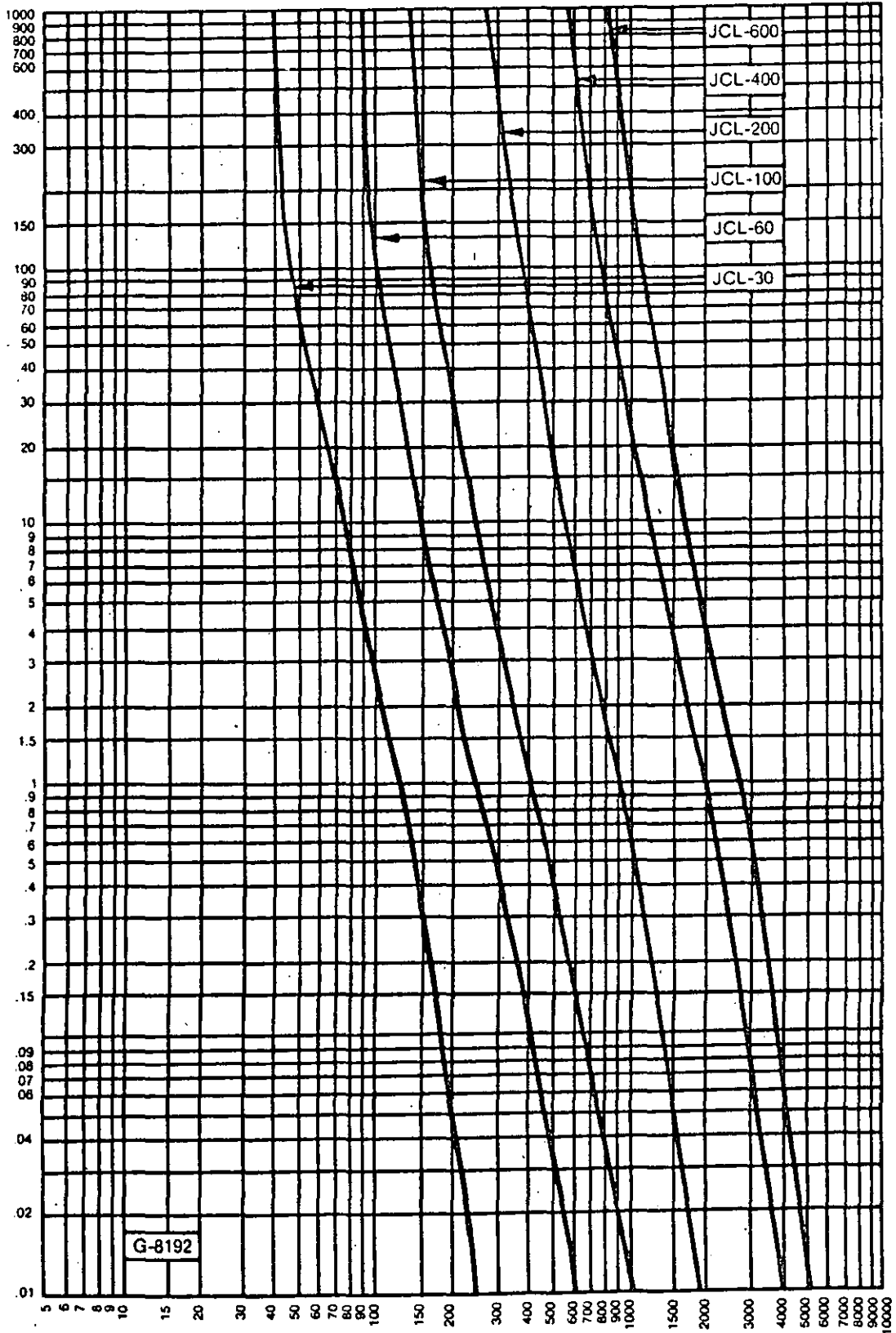
CORRIENTE SIMETRICA EN AMPS. R.C.M.  
CURVA CARACTERISTICA TIEMPO/CORRIENTE

# Fusibles Limitadores Econolim

## Símbolo JCL. Clase L de U.L.



TIEMPO DE FUSION EN SEGUNDOS



CORRIENTE SIMETRICA R.C.M. EN AMPERES X 10  
CURVA CARACTERISTICA TIEMPO PROMEDIO/CORRIENTE

# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

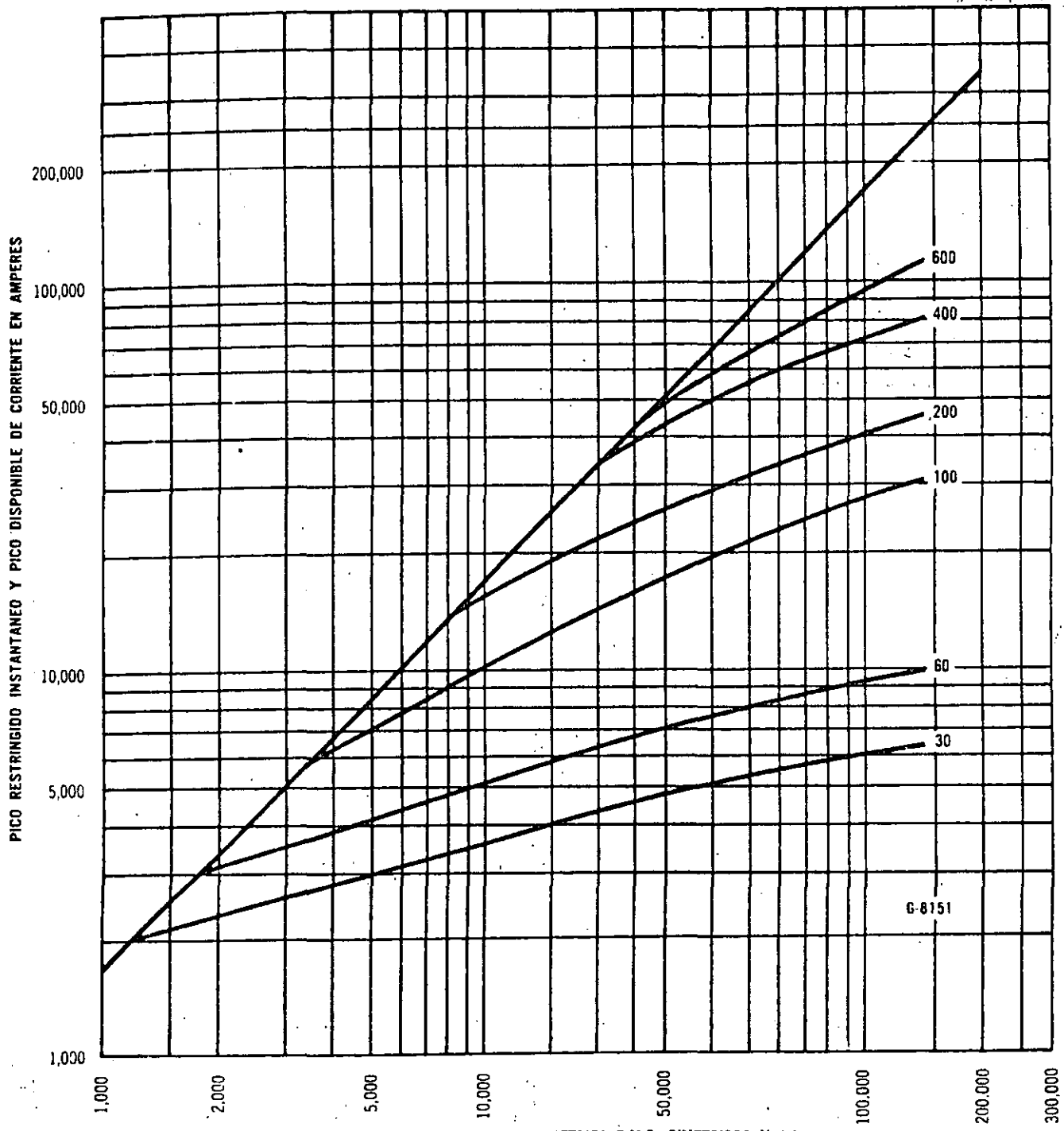
Con Retraso de Precisión y  
Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM



ECN

CLASE RK 5

CURVAS DE CORRIENTE PICO DE LA CORRIENTE DE FUGA - Hasta 600 Amp. 250 Volts.



CORRIENTE DISPONIBLE - ASIMETRICA R.M.C. SIMETRICOS X 1.4  
 NOTA: AMPS. RMC ASIMETRICOS - AMPS. R.M.C. SIMETRICOS X 1.4

G-8151

CLASE  
1330



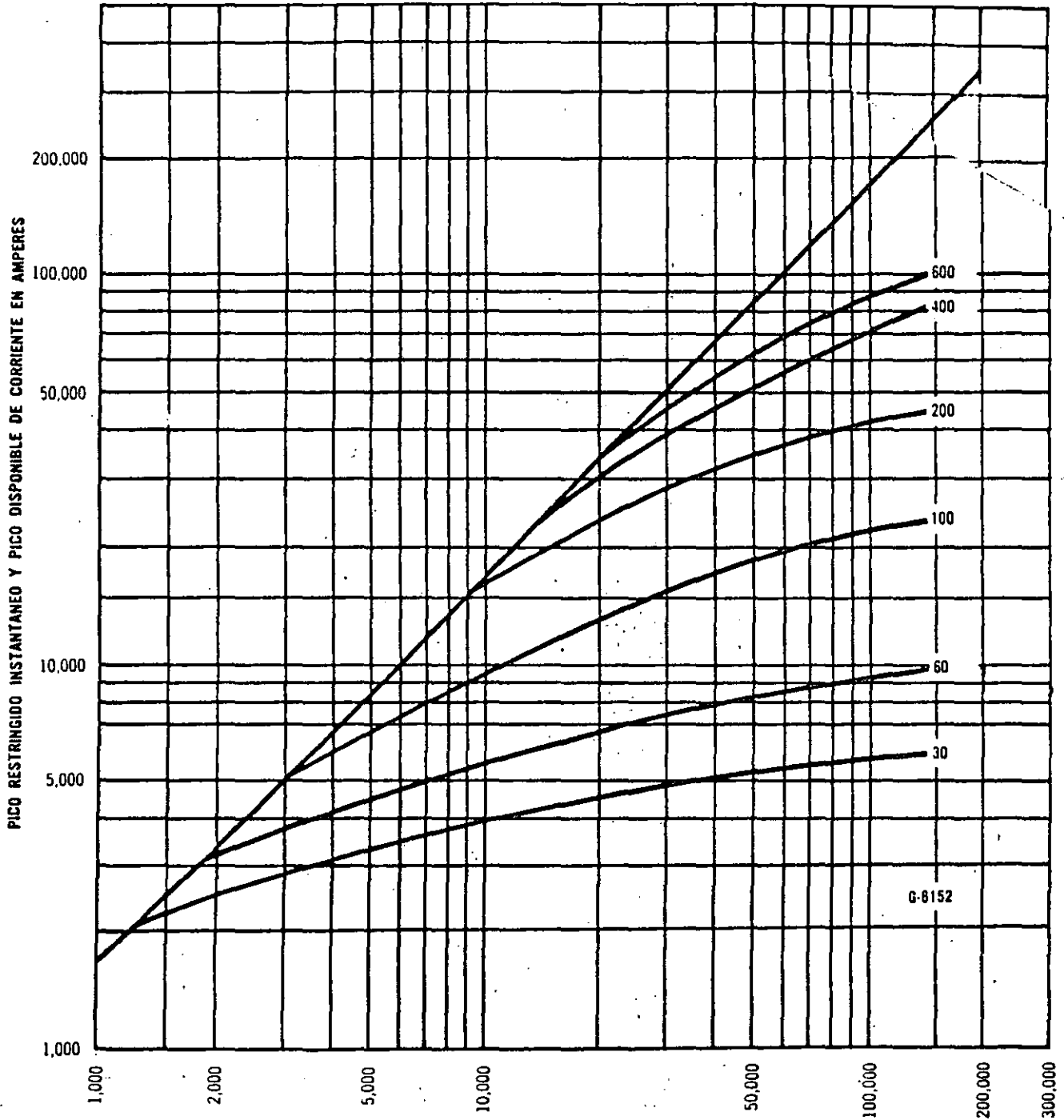
# Fusibles de Cartucho Econ® de Doble Elemento

Con Retraso de Precisión y  
Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM

ECS

CLASE RK 5

CURVAS DE CORRIENTE PICO DE LA CORRIENTE DE FUGA - Hasta 600 Amp. 600 Volts.



CORRIENTE DISPONIBLE - ASIMETRICA R.M.C. SIMETRICOS X 1.4  
NOTA: AMPS. R.M.C. ASIMETRICOS - AMPS. R.M.C. SIMETRICOS X 1.4

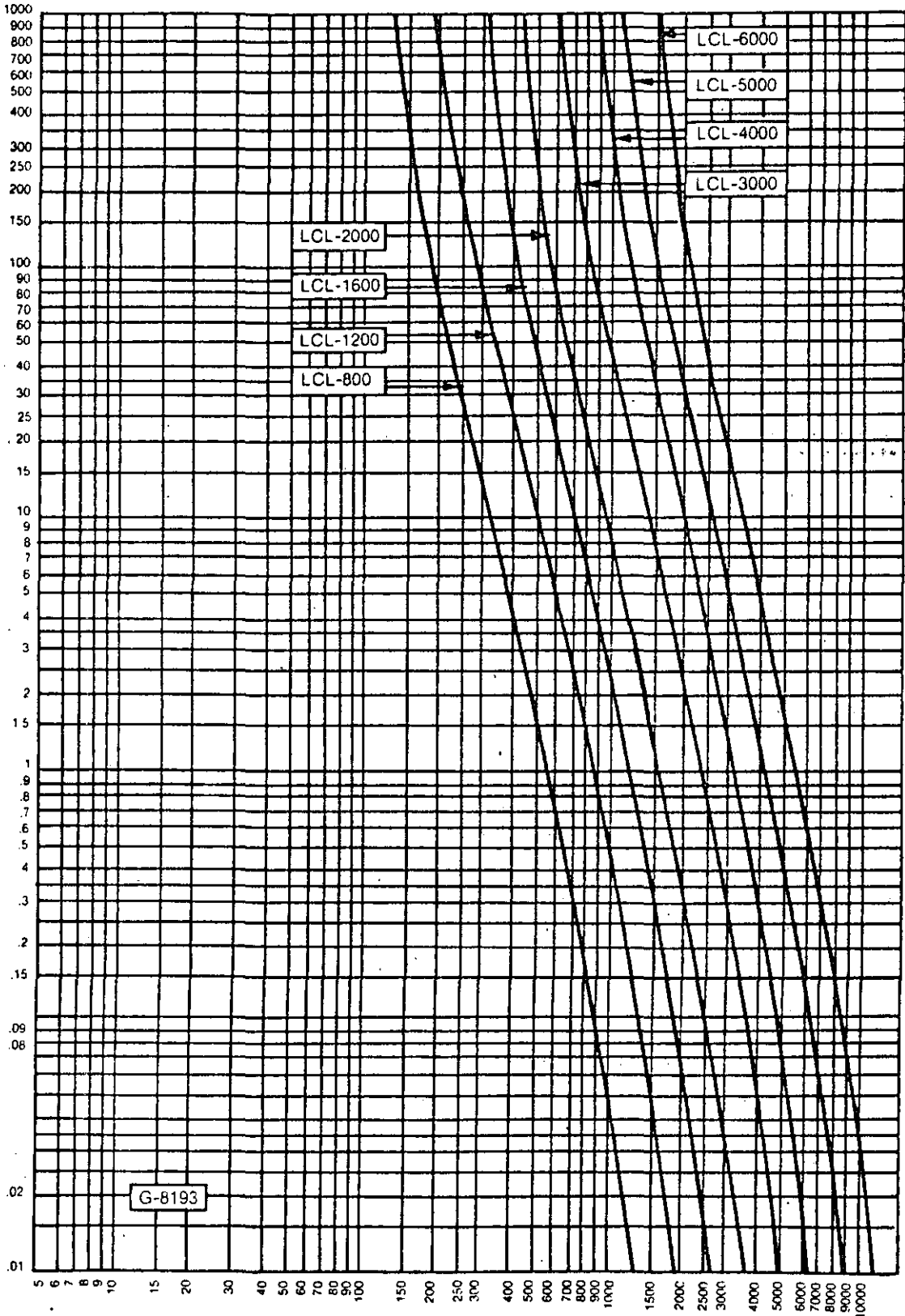
G-8152

# Fusibles Limitadores Econolim

## Símbolo LCL. Clase L de U.L.

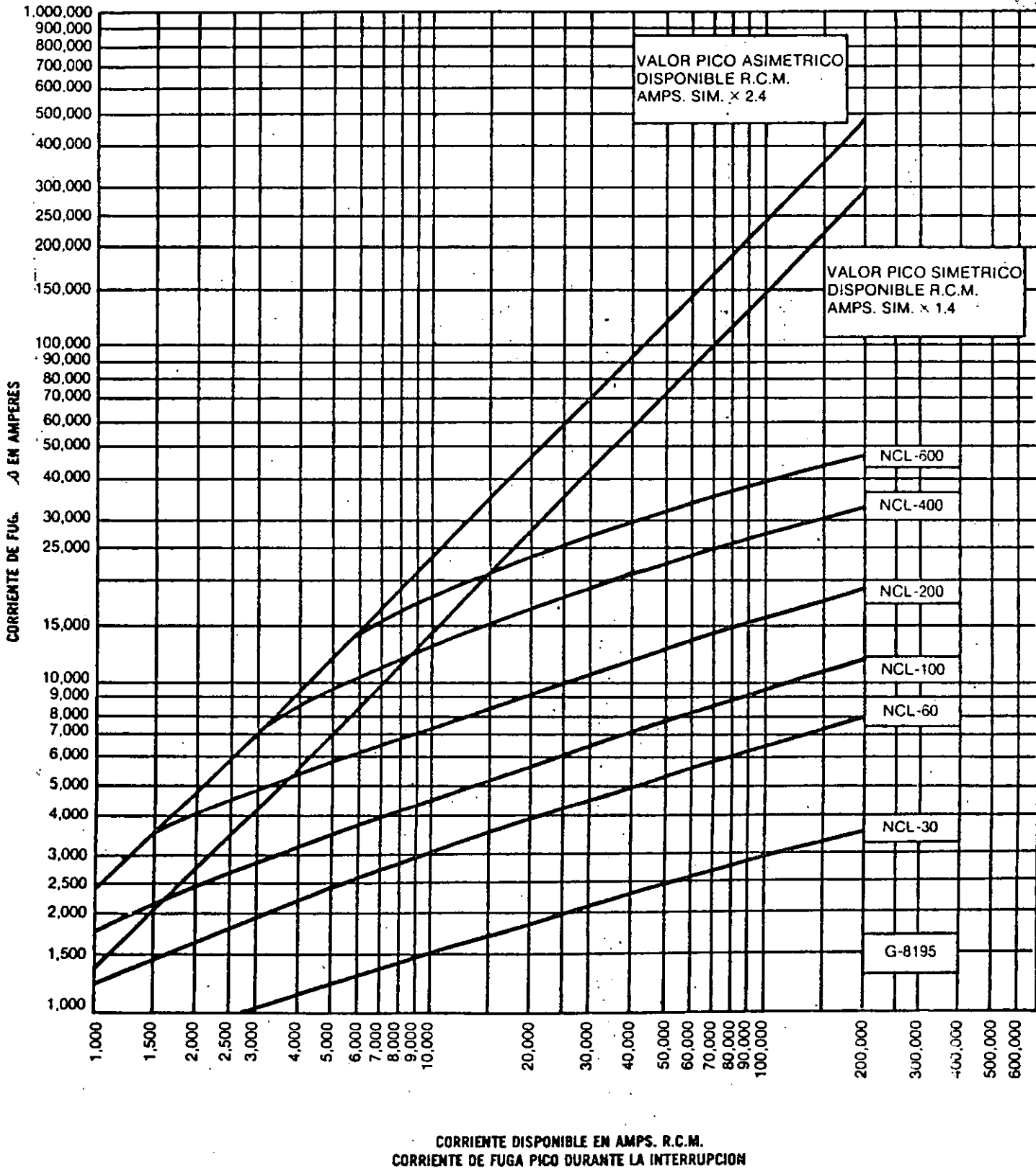


TIEMPO DE FUSION EN SEGUNDOS



CORRIENTE SIMETRICA R.C.M. EN AMPERES X 10  
CURVA CARACTERISTICA TIEMPO PROMEDIO/CORRIENTE

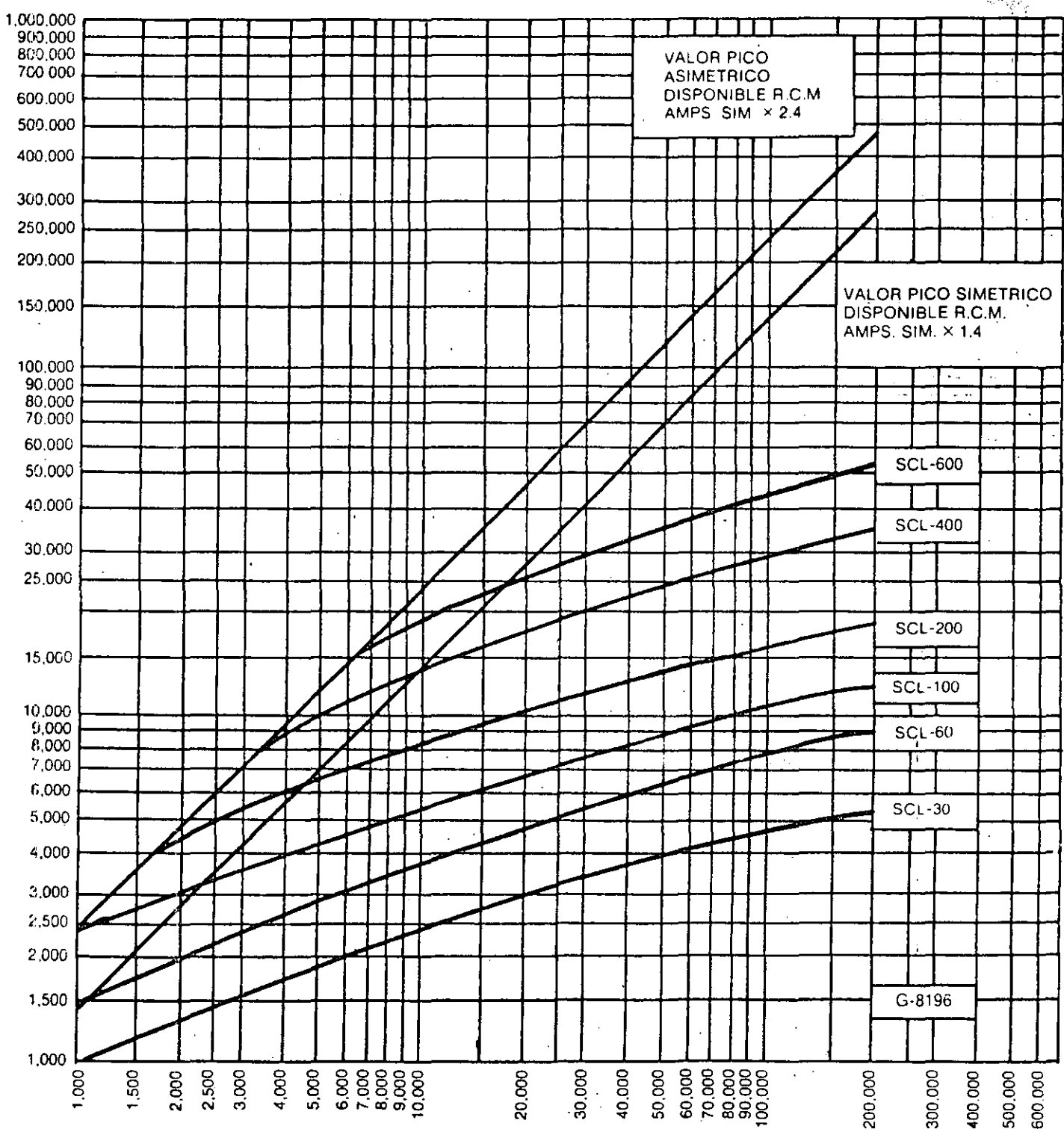
# Fusibles Econolim Limitadores de Energía Símbolo NCL 250 Volts. Clase K-1 de U.L.





# Fusibles Econolim Limitadores de Energía

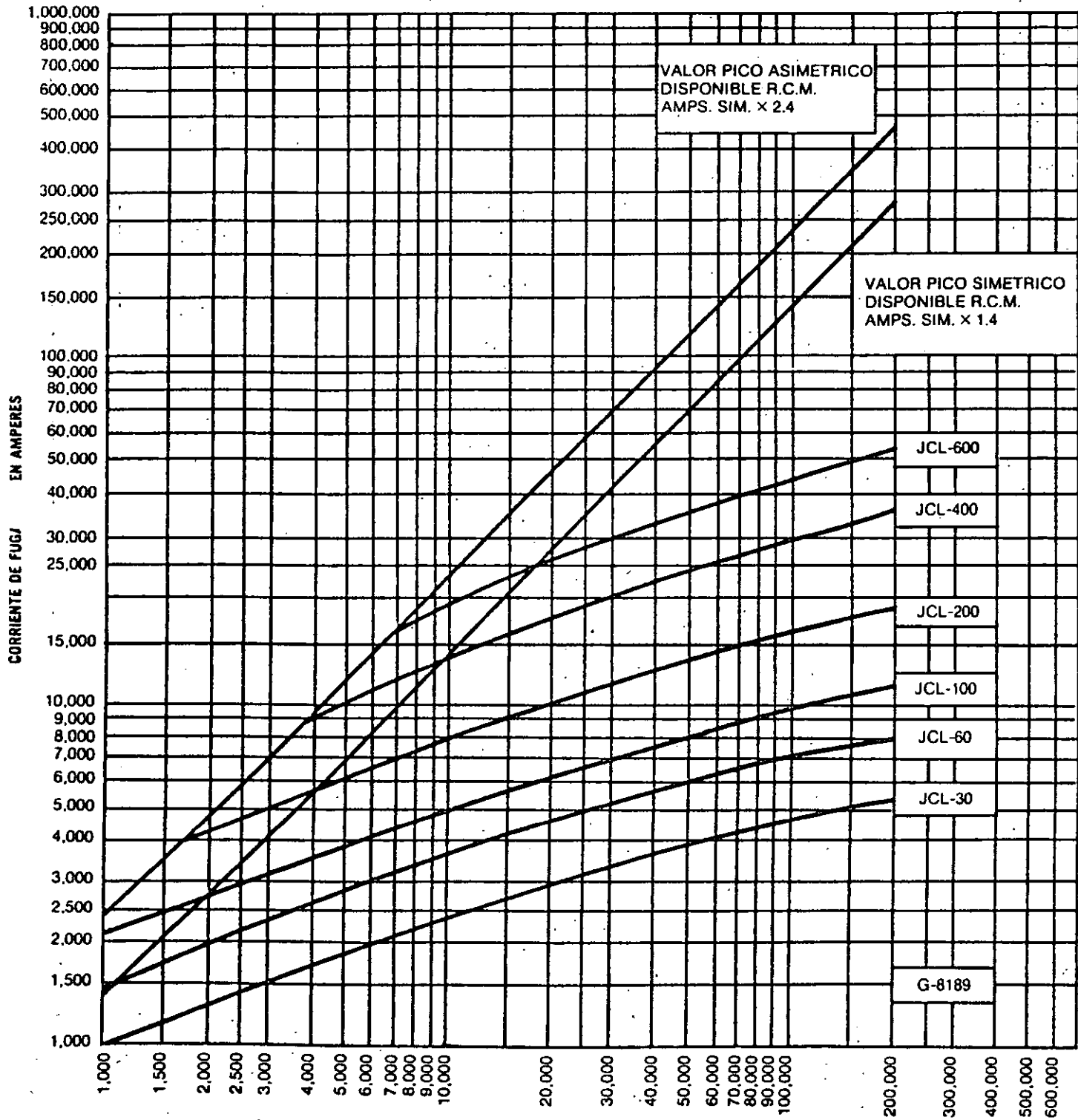
## Símbolo SCL 600 Volts. Clase K-1 de U.L.



CORRIENTE SIMETRICA DISPONIBLE EN AMPS. R.C.M.  
CORRIENTE DE FUGA PICO DE FUSIBLES SCL DURANTE LA INTERRUPCION

# Fusibles Limitadores Econolim

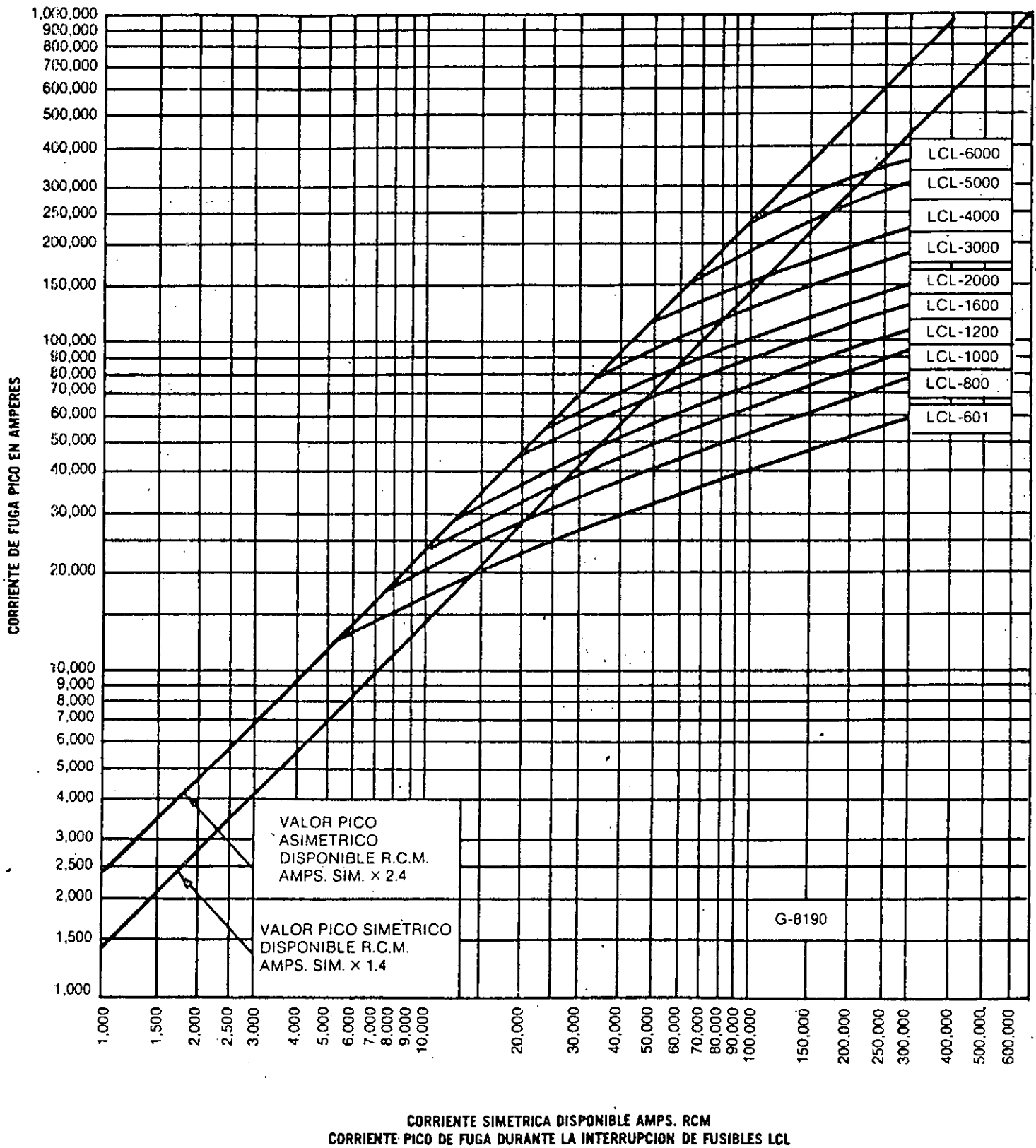
## Símbolo JCL. Clase J de U.L.



CORRIENTE SIMETRICA DISPONIBLE EN AMPERES R.C.M.  
 CORRIENTE DE FUGA PICO DURANTE LA INTERRUPCION DE FUSIBLES ECONOLIM CON SIMBOLO JCL

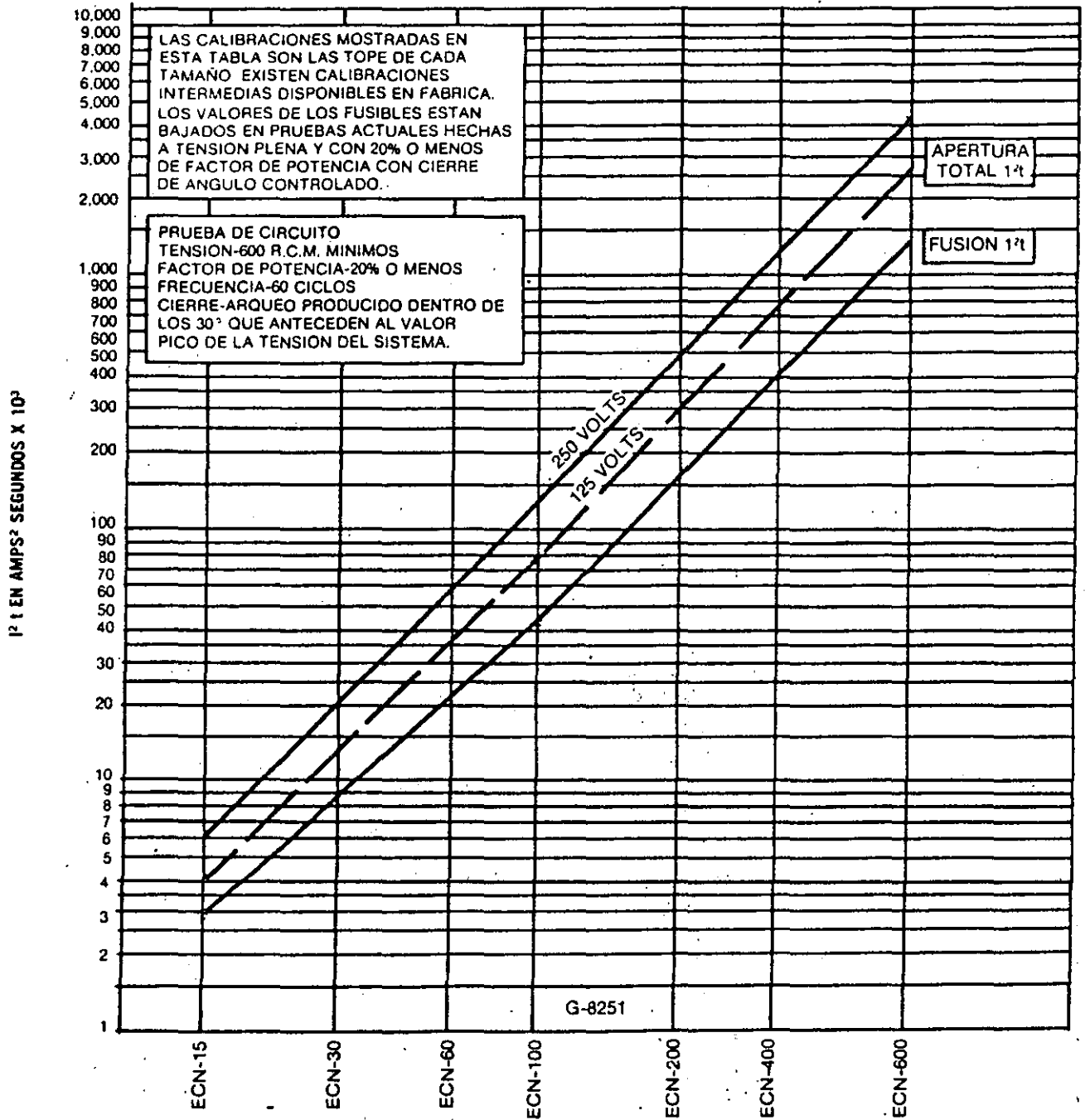
# Fusibles Limitadores Econolim

## Símbolo LCL. Clase L de U.L.



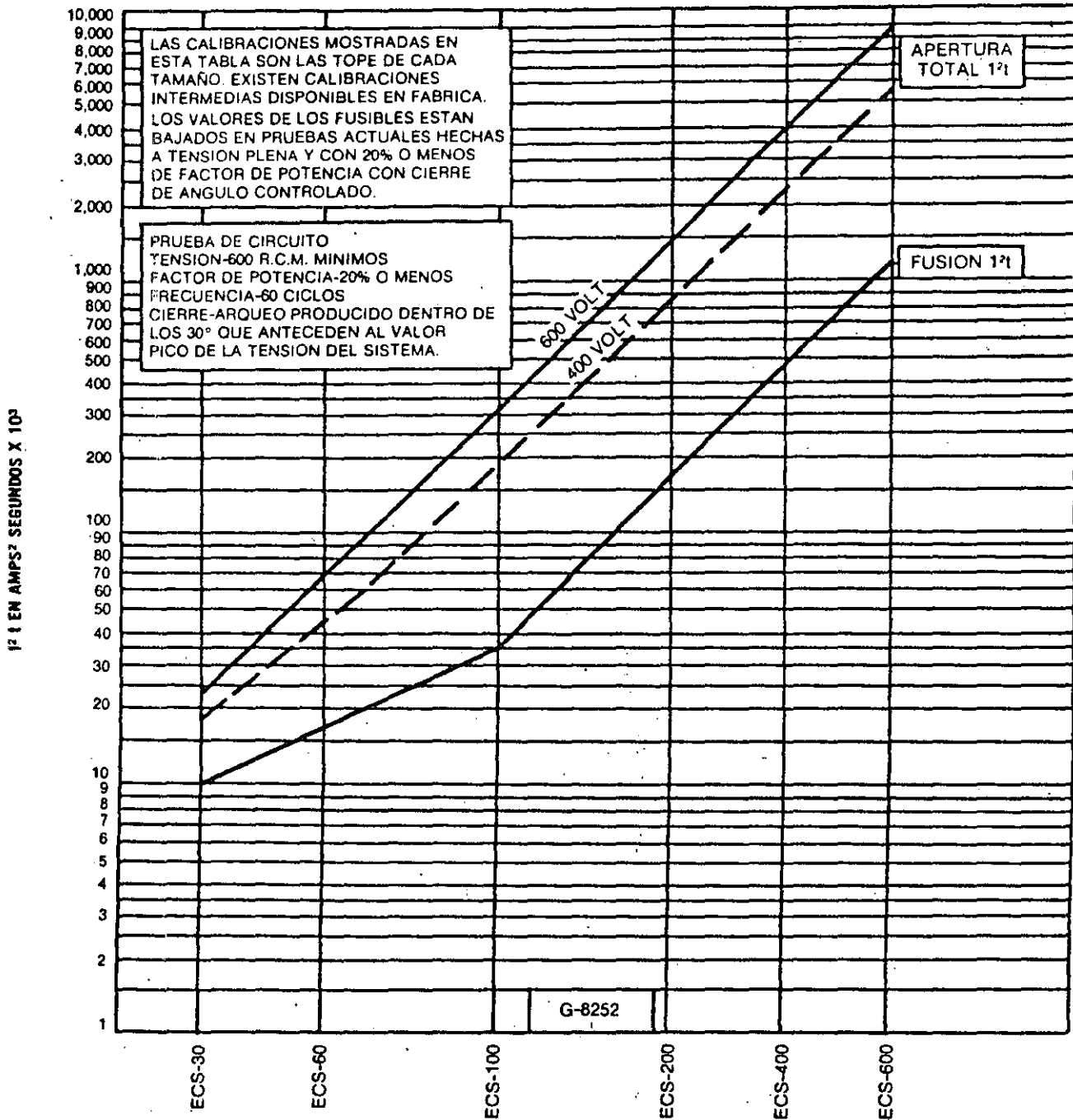
# Fusibles de Cartucho Econ de Doble Elemento

## Símbolo ECN 250 Volts. Clase K-5 de U.L.



CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES  
ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup>t (AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS)

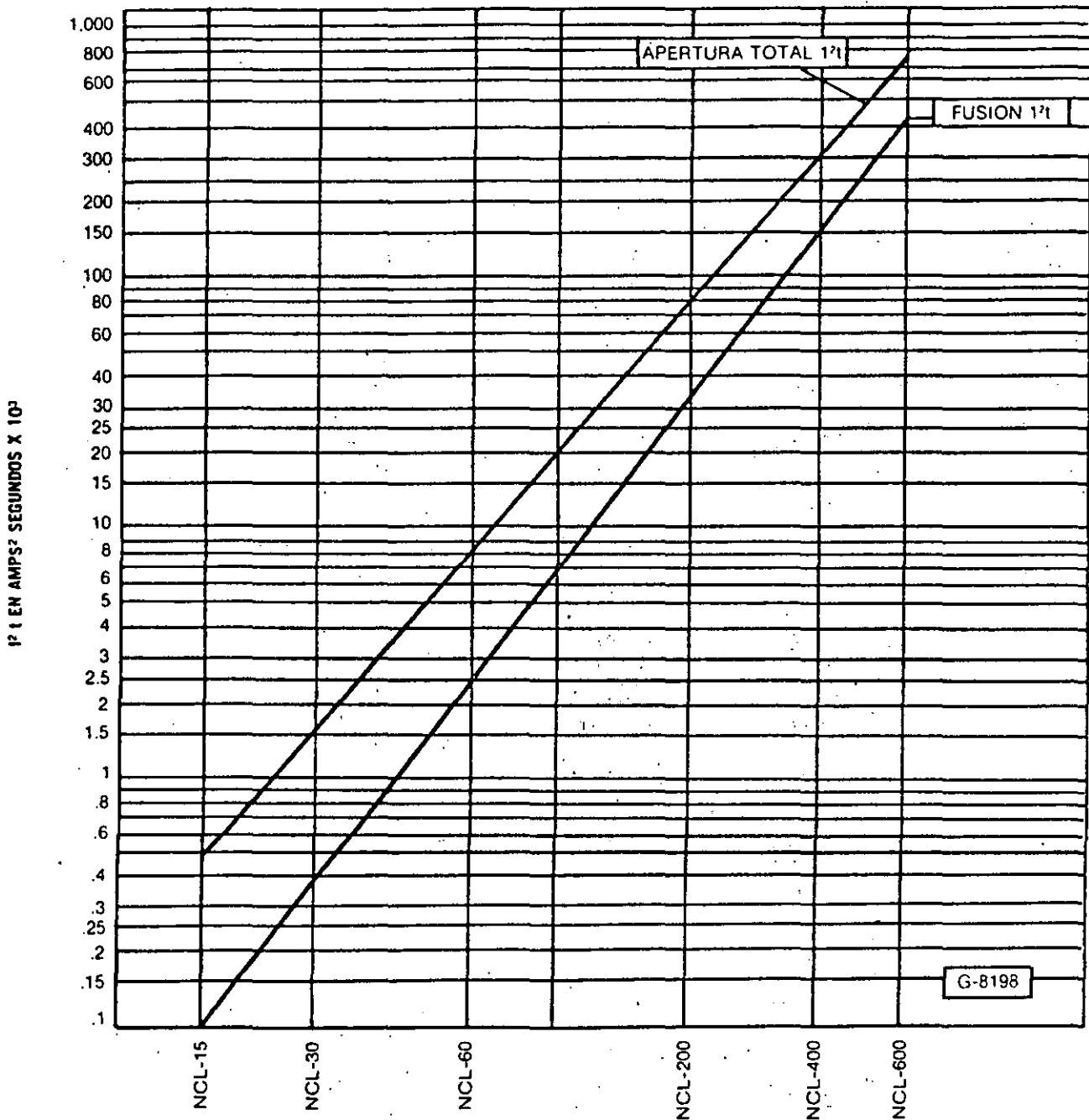
# Fusibles de Cartucho Econ de Doble Elemento Símbolo ECS 600 Volts.



CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES  
 ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup> t (AMP<sup>2</sup>S<sup>2</sup> SEGUNDOS)

# Fusibles Limitadores de Energía Econolim

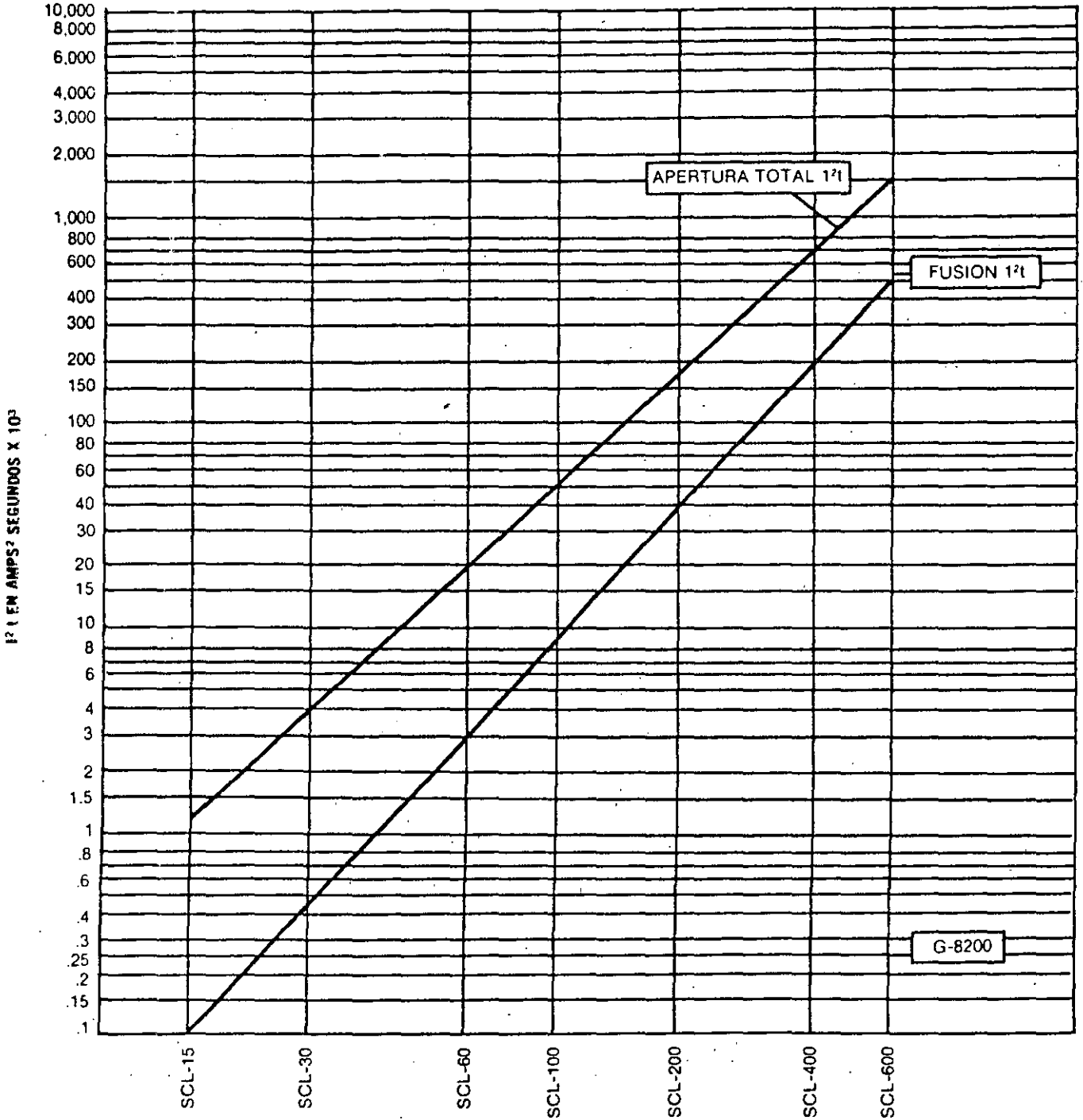
## Símbolo NCL. Clase K-1 de U.L.



**CAPACIDAD DEL FUSIBLE EN AMPERES**  
**ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup> t (AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS)**  
**BASADO EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. R.C.M. A LA TENSION NOMINAL**

# Fusibles Limitadores de Energia Econolim

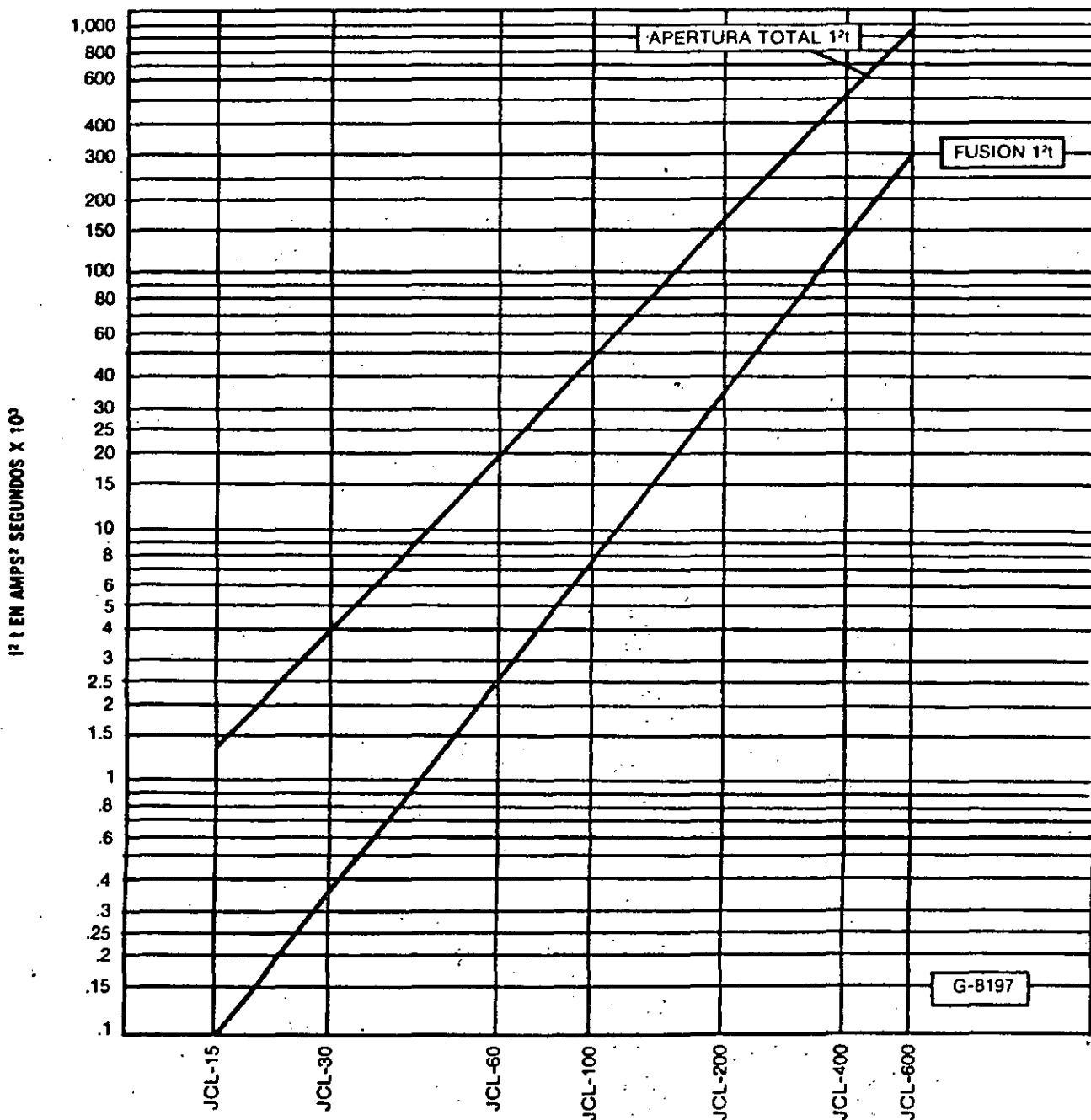
## Símbolo SCL. Clase K-1 de U.L.



CAPACIDAD DEL FUSIBLE EN AMPERES  
 ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUCCION I²t (AMPS² SEGUNDOS)  
 BASADO EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. A LA TENSION NOMINAL

# Fusibles Limitadores Econolim

## Símbolo JCL. Clase J de U.L.



**CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES**  
**ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I²t (AMPS² SEGUNDOS)**  
**BASADOS EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. A LA TENSION NOMINAL**

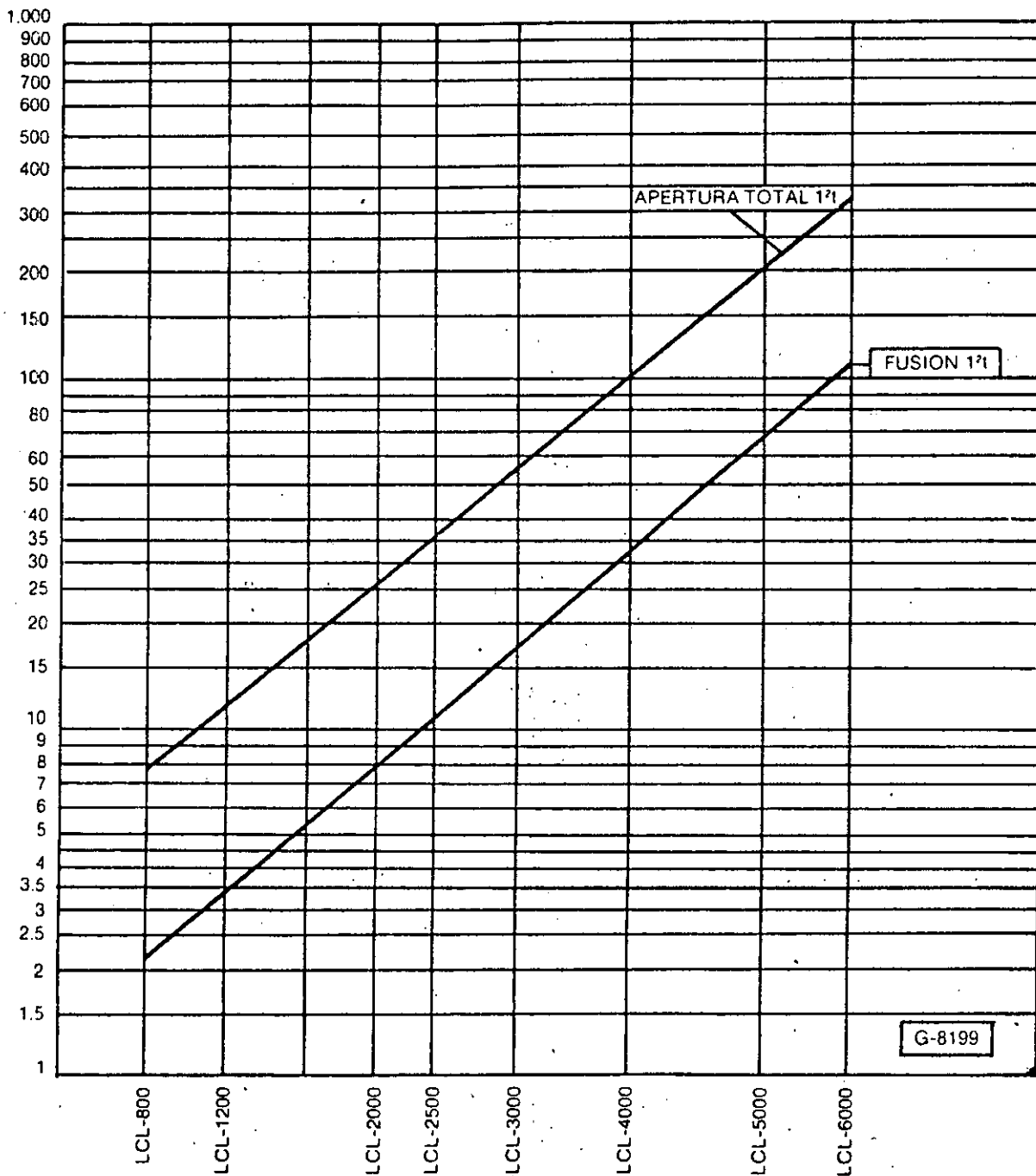


# Fusibles Limitadores Econolim

## Símbolo LCL. Clase L de U.L.



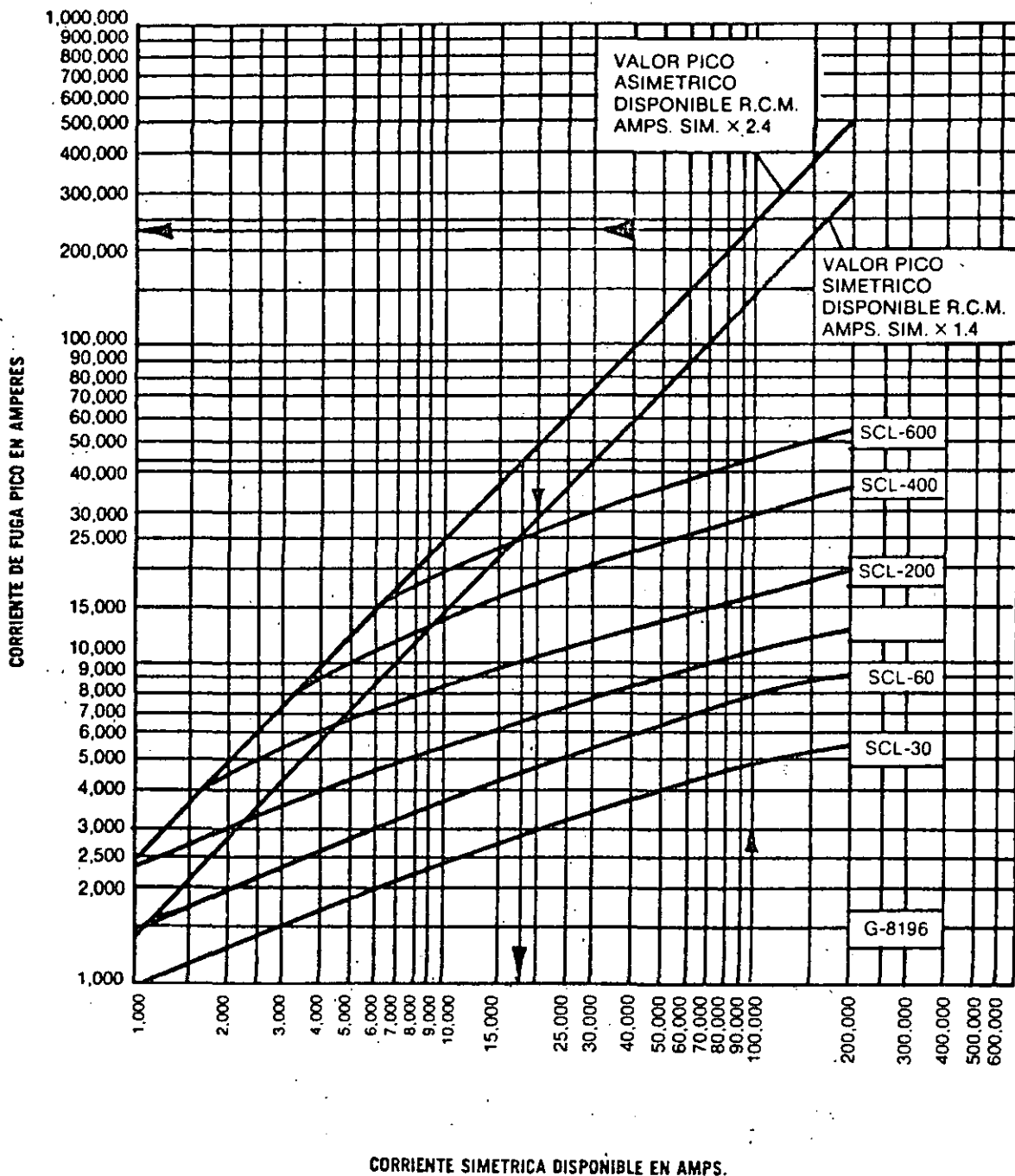
I<sup>2</sup> t EN AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS X 10<sup>3</sup>



G-8199

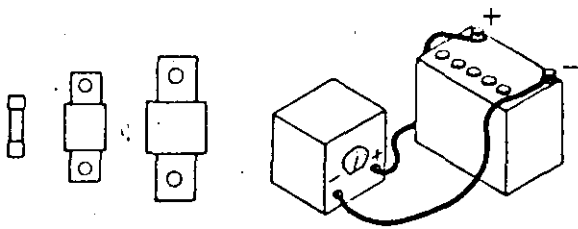
**CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES**  
**ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPCION I<sup>2</sup> t (AMPS<sup>2</sup> SEGUNDOS)**  
**BASADOS EN CORRIENTE DISPONIBLE DE 100 000 AMPS. A LA TENSION NOMINAL**

# Como Seleccionar un Fusible para la Protección de un Interruptor.

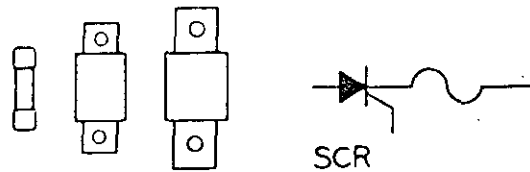


El ejemplo mostrado en la gráfica supone que la corriente de corto circuito disponible es de 100,000 Amperes. Tomando este valor hacia la línea inclinada (de valores asimétricos disponibles Pico, sin fusibles) obtenemos 240,000 Amperes asimétricos (la asimetría es 2.4). En este circuito el fusible SCL de 600 Amperes limitaría la corriente a 42,000 Amperes asimétricos, 17,000 Amperes simétricos.

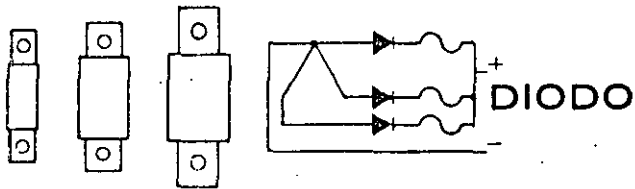
El último valor deberá ser inferior a la capacidad interruptiva del interruptor, es decir; que un fusible SCL de 600 Amperes puede proteger a un interruptor con capacidad interruptiva de 20,000 Amperes, pero no a uno de 10,000 Amperes.



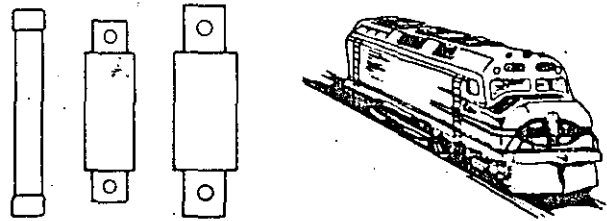
RFA 130 V  
1 A 1000 AMPS.



RFN 250 V  
1 A 1000 AMPS.

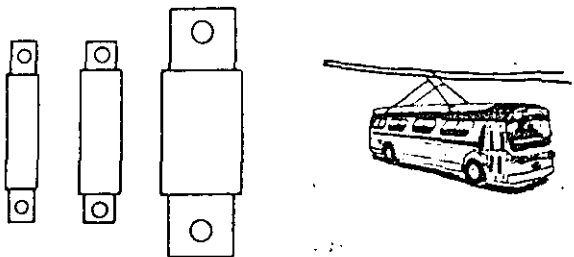


RFV 500 V  
35 A 1000 AMPS.

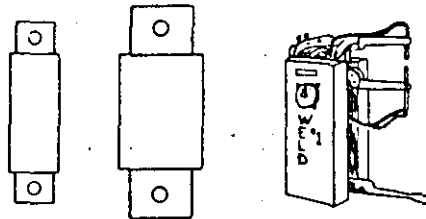


RFS 600 V  
1 A 1000 AMPS.

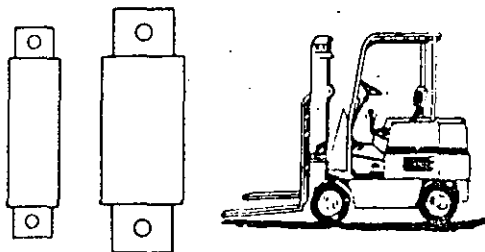
## FUSIBLES PARA RECTIFICADOR TIPO RF



RFC 600 V  
1 A 1000 AMPS.



RFL 700 V  
1 A 1000 AMPS.



RFK 1000 V  
1 A 1000 AMPS.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES**

---

**DIARIO OFICIAL**

**ING. LUIS MUROW ITQUIN**

**MAYO, 1985.**

## SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

**Aviso al público por el que se comunica la expedición de adiciones, modificaciones y aclaraciones a las normas técnicas para instalaciones eléctricas, edición 1981.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.—Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.—Dirección General de Normas.—Dirección de Normatización.—Depto. de Productos Industrializados.—Oficina Instalaciones Eléctricas.—Of.: 131/V.4

**AVISO al público por el que se comunica la expedición de adiciones, modificaciones y aclaraciones a las normas técnicas para instalaciones eléctricas, edición 1981.**

Con fundamento en los artículos 28 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica; 10, 50, 90, y 10 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas; 24 fracción X del Reglamento Interior de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; 40, fracción XIV inciso g) del Acuerdo que adscribe unidades administrativas y delega facultades en los Subsecretarios, Oficial Mayor, Directores Generales y otros subalternos de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, publicados estos dos últimos ordenamientos en el Diario Oficial de la Federación de 12 de diciembre de 1983 y 27 de abril de 1984, respectivamente y

### CONSIDERANDO

Que las Normas Técnicas para instalaciones destinadas al uso de la energía eléctrica están sujetas a un proceso de revisión continua para mantenerlas acordes con los avances tecnológicos en la materia, así como con las condiciones y necesidades del país.

Que dicha revisión se realizó por esta Secretaría en los términos establecidos en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas y contando con la opinión del Comité Consultivo de Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, se tiene a bien expedir el siguiente:

**AVISO AL PUBLICO POR EL QUE SE COMUNICA LA EXPEDICION DE ADICIONES, MODIFICACIONES Y ACLARACIONES A LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS, EDICION 1981.**

**ARTICULO UNICO.**—Se hace del conocimiento del público en general, que las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, Edición 1981, cuyo Aviso de Expedición fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de julio de 1981, han sido adicionadas, modificadas o aclaradas, en las siguientes Secciones, Subsecciones y puntos: Sección 102: punto 102.13; Sección 201: se aclara la Subsección B y se suprime el punto 201.11; Sección 202: punto 202.6 y 202.7; Sección 203: punto 203.3; Sección 204: puntos 204.1, 204.2 y Tabla 204.8 a); Sección 301: puntos 301.9, 301.10, 301.11, 311.15 y 301.17; Sección 302: Tabla 302.4; Sección 304: punto 304.4; Sección 306: punto 306.7; Sección 307: puntos 307.9 y 307.18; Sección 308: punto 308.2; Sección 310: puntos 310.8, 310.14 y 310.16; Sección 313: punto 313.6; Sección 505: punto 505.3; Sección 506: punto 506.2; Sección 514: punto 514.3; Sección 601: puntos 601.5 y 601.6; Sección 605 apartado A: se adiciona este apartado con el punto 605.7; Sección 605 apartado B: punto 605.14.

La Edición 1981 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, así como las adiciones, modificaciones y aclaraciones a que se refiere el presente aviso, se ponen a disposición del público en la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, en Av. Puente de Tecamachalco No. 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

### TRANSITORIOS

**UNICO.**—El presente Aviso entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Atentamente.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D. F., a 19 de abril de 1985.—El Director General de Normas, Héctor Vicente Bayardo Moreno.—Rúbrica.



SECRETARIA DE  
COMERCIO Y  
TURISMO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA DIREC. GRAL. DE NORMAS.  
DIRECCION DE NORMALIZACION  
DEPTO. DE PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS  
OFICINA INSTALACIONES ELECTRICAS.

NO DE OFICIO  
131/V.4

EXPEDIENTE

ASUNTO:

ADICIONES, MODIFICACIONES Y ACLARACIONES A LAS NORMAS TECNICAS  
PARA INSTALACIONES ELECTRICAS EDICION 1981

Introducción

El presente documento contiene adiciones, modificaciones y aclaraciones a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas Edición 1981, vigentes - a partir del 23 de abril de 1985 mediante el Aviso al Público que apareció en el Diario Oficial de la Federación del día anterior.

En términos de lo dispuesto por el artículo tercero transitorio del Reglamento de Instalaciones Eléctricas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1981, los requisitos de este documento se aplicarán a las instalaciones nuevas, a la ampliación o modificación de las existentes y a aquellas instalaciones existentes que, por su estado o características, impliquen algún riesgo para las personas o sus bienes, lo cual estará a juicio de la Dirección de Electricidad y Gas de la propia Secretaría.

Tal como lo señala el Aviso al Público antes mencionado, la elaboración de este documento se hizo a través del Comité Consultivo de Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, órgano asesor de la Dirección General de Normas, que contó con la participación de diversas instituciones públicas y - privadas relacionadas con el campo de las instalaciones eléctricas.

Se adicionan, modifican y aclaran requisitos comprendidos en las Secciones 102, 201, 202, 203, 204, 301, 302, 304, 306, 307, 308, 310, 313, 505, 506, 514, 601 y 605 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas. Parte I: Instalaciones para el Uso de Energía Eléctrica, Edición 1981, cuyo Aviso de Expedición fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de julio de 1981; en los artículos que a continuación se especifican:

AL CONTESTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS  
DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
INDUSTRIA PÚBLICA

No. DE OFICIO	EXPEDIENTE

ASUNTO: \_\_\_\_\_

Sección 102 - Requisitos Técnicos de Carácter General

Artículo 102.13. Diseño de instalaciones.

Se modifica el inciso c) para quedar como sigue:

c) Limitación de daño por fallas. Se recomienda limitar el número de conductores y circuitos alojados en una canalización o cubierta, a fin de minimizar el daño que pueda ocasionar un corto circuito o falla a tierra producido en alguno de ellos. En el Capítulo 3 de estas Normas Técnicas se especifica el número máximo de conductores que se permite alojar en determinados tipos de canalizaciones.

Sección 201 - Acometidas y Equipo de Conexión del Servicio

Subsección B. Medios principales de desconexión y de protección en la instalación del usuario

Se hace la aclaración de que los requisitos de esta Subsección son aplicables únicamente a los servicios en baja tensión, quedando eliminado el artículo - 201.11. Los requisitos para los medios de desconexión y protección en subestaciones de usuarios, quedarán establecidos en la Sección 601.

Sección 202 - Circuitos Derivados

Artículo 202. 6. Caída de tensión.

Se modifica este artículo para quedar como sigue:

La caída de tensión global desde el medio de desconexión principal hasta cualquier salida de la instalación (sea de alumbrado, fuerza, calefacción, etc.) no debe exceder del 5 por ciento.

Se recomienda que dicha caída de tensión se distribuya razonablemente en el circuito derivado y en el circuito alimentador, de tal manera que en cualquiera de ellos la caída de tensión no sea mayor de 3 por ciento.

AL RESPONDER ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS  
DÍAS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



No. DE OFICIO	EXPEDIENTE

ASUNTO: \_\_\_\_\_

Artículo 202.7 Conductores de circuitos derivados.

Se establece una excepción en el inciso a) y se añade el inciso c), quedando éstos en la siguiente forma:

- a) Capacidad de corriente. Los conductores de un circuito derivado deben tener una capacidad de corriente no menor que la capacidad nominal del circuito, de acuerdo con su clasificación según el artículo 202.3 y no menor que la carga máxima por servir.

Excepción. En circuitos derivados de 15 y 20 amperes se permite usar conductor de calibre No. 14 AWG (2.08 mm<sup>2</sup>) en las derivaciones que parten desde los conductores principales del circuito hasta luminarios o portalámparas controlados por apagadores.

- c) Conductor neutro. Cada circuito derivado debe tener un conductor neutro individual.

Este requisito no prohíbe el uso de circuitos derivados multifilares para alimentar cargas monofásicas conectadas entre cada conductor activo y el neutro, en los cuales el dispositivo de desconexión debe abrir simultáneamente los conductores activos. (Ver la definición de circuito derivado multifilar en la Sección 101).

Sección 203 - Circuitos Alimentadores

Artículo 203.3 Caída de tensión.

Se modifica este artículo para quedar como sigue:

La caída de tensión global desde el medio de desconexión principal hasta cualquier salida de la instalación (sea de alumbrado, fuerza, calefacción, etc.) no debe exceder del 5 por ciento.

Se recomienda que dicha caída de tensión se distribuya razonablemente en el circuito derivado y en el circuito alimentador, de tal manera que en cualquiera de ellos la caída de tensión no sea mayor de 3 por ciento.

Sección 204 - Cálculo de la carga de los circuitos

REPRODUCIR ESTE OFICIO. CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



No. DE OFICIO	EXPEDIENTE

ASUNTO:

Artículo 204.1 Aplicación.

Se añade al final de este artículo el siguiente párrafo:

Las cargas indicadas en esta sección están basadas en la tensión nominal del sistema utilizado, tal como 220/127 volts para un sistema trifásico de 4 hilos y 240/120 volts para un sistema monofásico de 3 hilos.

Artículo 204.2 Cálculo de la carga en los circuitos derivados.

La carga de 180 watts asignada a los contactos de uso general en los subincisos a.1) y b.2), se cambia a 180 VA.

Nota. Se recomienda no conectar más de 12 salidas en un circuito derivado para contactos de uso general.

Tabla 204.8a) Factores de demanda para el cálculo de la carga de alumbrado general en alimentadores.

Se hace la aclaración de que los factores de esta tabla están dados como lineamiento general y no tienen carácter obligatorio.

Sección 301 - Métodos de Instalación. Requisitos Generales

Artículo 301.9 Conductores de diferentes sistemas.

Se añade un nuevo párrafo al inciso e), quedando éste como sigue:

- e) Los conductores de sistemas de comunicación, tales como los de teléfonos, radiocomunicación, etc., no deben ocupar la misma canalización que los conductores de fuerza y alumbrado.

Este requisito no prohíbe que en un sistema de ductos para piso (ver la Sección 310) haya circuitos eléctricos y de comunicación en las cajas de registro donde confluyen varios ductos, siempre que existan separadores que independicen totalmente los dos tipos de circuitos. No obstante, cuando se trate de instalaciones de teléfonos es conveniente consultar a la empresa que presta este servicio.

SE CANTINAN ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS  
DÍAS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
CONSUMO

--

No. DE OFICIO	EXPEDIENTE
---------------	------------

ASUNTO:

Artículo 301.10 Número de conductores permitidos en una canalización.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

En general, el número y el calibre de los conductores alojados en una canalización deben ser tales que permitan la disipación del calor generado y una fácil instalación y remoción de los mismos conductores. Véanse los artículos 304.4, 305.3, 305.7, 308.5, 310.7 y 311.9, que indican factores de relleno y número máximo de conductores para diferentes tipos de canalizaciones.

Artículo 301.11 Colocación de los conductores en las canalizaciones.

El primer párrafo de este artículo se substituye por lo siguiente:

Los conductores no deben introducirse en las canalizaciones sino hasta que éstas hayan sido instaladas y formen un sistema completo de canalización con todos sus accesorios, excepto en los casos siguientes:

Excepción 1. Canalizaciones visibles con tapa removible.

Excepción 2. Canalizaciones prealambradas en casas habitación hechas en serie o edificios multifamiliares hasta de 3 pisos, siempre que se garantice que no habrá obturación de la canalización en ningún punto de su trayectoria y que podrá ser realambrada posteriormente en caso necesario.

Artículo 301.15 Prevención contra la propagación de incendios.

Se amplía el primer párrafo, quedando como sigue:

Las instalaciones eléctricas deben hacerse en tal forma que se reduzca al mínimo la posibilidad de propagación de incendios a través de cubos verticales de edificios, ductos de extracción y ductos de ventilación y aire acondicionado. Los claros alrededor de cables o canalizaciones que atraviesan paredes, pisos o techos resistentes al fuego, deben tener barreras adecuadas que eviten la propagación de incendios.

Artículo 301.17 Canalización para alimentadores que abastezcan a usuarios de un mismo edificio.

AL MENJAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS  
CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

.6

Se elimina la excepción que aparece en este artículo, con lo cual no es necesario que en edificios en condominio se instalen canalizaciones separadas para cada uno de los usuarios.

Sección 302 - Conductores de Uso General

Tabla 302.4 Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)

Se agrega la siguiente nota a esta tabla:

El conductor tipo THW debe considerarse para una temperatura de operación de 75°C en cualquier aplicación dentro de canalización o en línea abierta. Este conductor puede trabajar a una temperatura de 90°C en aplicaciones especiales tal como en alambrados interiores de luminarios con lámparas de descarga eléctrica.

Sección 304 - Tubo Metálico Rígido

Artículo 304. 4 Número de conductores (factores de relleno).

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

- a) Todos los conductores que se alojen en un tubo, sean portadores de corriente o no, incluyendo su aislamiento y otros forros, no deben ocupar más del 40 por ciento de la sección transversal del tubo en el caso de 3 conductores o más; no más del 30 por ciento cuando sean 2 conductores y no más del 55 por ciento cuando se trate de un solo conductor. (Véanse las tablas del Apéndice I).

En niples hasta de 60 cm de longitud instalados entre cajas, gabinetes y cubiertas similares, se permite ocupar hasta el 60 por ciento de la sección transversal del niple, y no es necesario en este caso aplicar los factores de conexión por agrupamiento de la Tabla 302.4a).

Un cable multiconductor de 2 ó más conductores debe ser tratado como un solo conductor para efectos de aplicación de los factores de relleno antes mencionados.

- b) El número máximo de conductores portadores de corriente que se alojen en -

EN ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



DEPENDENCIA

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

.7

un tubo debe ser de 30. En este caso, los conductores de circuitos de control y señalización, tales como los de estaciones de botones, lámparas piloto, etc., y los conductores de puesta a tierra, no se consideran como portadores de corriente. (Véase la Tabla 302.4a para los factores de corrección por agrupamiento que afectan a la corriente permisible en los conductores).

Sección 306 - Tubo no Metálico

Artículo 306.7 Número de conductores (factores de relleno).

Se modifica este artículo, quedando igual que el 304.4 anterior.

Sección 307 - Cajas y Accesorios para Canalización con Tubo

Artículo 307.9 Espacio ocupado por los conductores en una caja.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Las cajas de conexión deben tener dimensiones tales que permitan alojar holgadamente todos los conductores contenidos en ellas. Para este propósito se recomienda seguir los lineamientos indicados en los incisos a), b) y c) de este artículo.

Dichos lineamientos no son aplicables a las cajas de conexión integradas en los motores. Las cajas de conexión que contengan conductores calibre No. 4 AWG (21.15 mm<sup>2</sup>) o mayor, también deben cumplir con lo establecido en el artículo 307.18.

a) Cajas normales. Serán de dimensiones tales que permitan disponer de un volumen mínimo, para cada conductor, según la tabla siguiente:

Tabla 307.9a)

Calibre del conductor AWG	Volumen mínimo cm <sup>3</sup>
14	33
12	37
10	41
8	49
6	82

EN LA INVESTIGAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
ASIENTO INDUSTRIAL

No. DE OFICIO	EXPEDIENTE
---------------	------------

ASUNTO:

Para la aplicación de esta tabla, un conductor que pase sin derivación a través de la caja, se tomará como un conductor y cada derivación que salga de la caja, se tomará como un conductor más. Aquellos conductores que se originen dentro de la caja para la conexión de dispositivos montados en la misma, no se tomarán en cuenta. Uno o varios conductores de puesta a tierra se considerarán como un solo conductor de calibre igual al mayor de ellos.

Cuando las cajas contengan uno o más contactos o apagadores, el volumen ocupado por éstos será el equivalente al requerido para el conductor más grueso de los alojados en la caja. Otros accesorios tales como soportes para luminarios y abrazaderas para cables, también se considerará que ocupan, en conjunto, el volumen que requiere el conductor más grueso de los alojados en la caja.

La siguiente tabla muestra el número máximo de conductores del mismo calibre que pueden alojarse en las cajas metálicas normales:

Tabla 307.9b)

Designación comercial	Dimensiones nominales mm	Volumen interior aproximado cm <sup>3</sup>	Número máximo de conductores				
			Calibre				
			14	12	10	8	6
13 mm Redonda u octogonal	75x38	170	5	4	4	3	2
19 mm Redonda u octogonal	100x38	280	8	7	6	5	3
13 mm Cuadrada	75x75x38	210	6	5	5	4	2
19 mm Cuadrada	100x100x38	370	11	10	9	7	4
25 mm Cuadrada	120x120x57	800	24	21	19	16	9
Chalupa	97x57x38	200	6	5	4	4	2

Nota. En caso de que una caja contenga dispositivos o accesorios tales como contactos, apagadores, soportes para luminarios o abrazaderas para cables, el número de conductores indicado en esta tabla será reducido de conformidad con lo señalado en el párrafo tercero de este mismo inciso.

AL PRESENTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARIA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA:

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE


ASUNTO:

.17

- b) Se recomienda instalar desconectores en otros puntos, donde se requiera abrir líneas o conexiones para maniobras de operación o mantenimiento.

México, D.F., a 22 de abril de 1985

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS

  
LIC. HECTOR VICENTE BAYARDO MORENO

AL CONTESTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.

RGA\*ELCR\*VLCS\*JMS\*eso.



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA

Nº. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

9

- b) Otras cajas. El número máximo de conductores permitido en otras cajas metálicas o no metálicas de 1 700 cm<sup>3</sup> o menos, de dimensiones diferentes a las consideradas en la Tabla 307.9b), así como en las cajas fundidas que tengan más de dos entradas para tubo, será también computado usando el volumen por conductor indicado en la Tabla 307.9a). Se recomienda que el volumen interior de estas cajas (en cm<sup>3</sup>) sea incluido en la información técnica que proporciona el fabricante.

Tabla 307.9c)  
Volumen interior aproximado de cajas metálicas fundidas.

Diámetro nominal del tubo mm	Serie oyalada cm <sup>3</sup>	Serie rectangular cm <sup>3</sup>	Serie redonda cm <sup>3</sup>
13	88	279	294
19	130	279	294
25	255	279	294
32	300		
38	400		
51	800		
63	1700		
76	2200		
102	4200		

- c) Cajas fundidas ovaladas. En su aplicación para alojar conductores de calibre No. 6 AWG (13.30 mm<sup>2</sup>) o menor, estas cajas se usarán solamente como de paso, es decir, el número máximo de conductores permitido será aquél que se permita para el tubo de mayor diámetro acoplado a las mismas. Las cajas con dos entradas para tubo no contendrán empalmes, derivaciones o dispositivos, a menos que se cumpla lo establecido en el inciso b) anterior.

Nota. Para designar a las cajas fundidas a que se refiere este artículo, ordinariamente se usa el término "condulet".

Artículo 307.18 Cajas de conexiones.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

AL COPIAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO



SECRETARIA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA.

Nº. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

.10

Artículo 307.18 Cajas de jalado y conexión para conductores calibre No. 4 AWG (21.15 mm<sup>2</sup>) o mayor.

Además de contar con el espacio suficiente para alojar a los conductores y conexiones, las cajas de jalado y conexión (excepto las cajas fundidas estándar) -- que contengan conductores de calibre No. 4 AWG (21.15 mm<sup>2</sup>) o mayor, instaladas en la confluencia de canalizaciones, deben tener espacio suficiente para permitir, sin dificultad, la introducción de los conductores en las canalizaciones.

- a) Para trayectorias rectas, se recomienda que la longitud de la caja sea por lo menos de ocho veces el diámetro nominal del tubo de mayor diámetro que -- llegue a la caja.
- b) Para trayectorias en ángulo, se recomienda que la distancia entre cada entrada de tubo dentro de la caja y la pared opuesta de la misma caja, sea por lo menos de seis veces el diámetro nominal del tubo de mayor diámetro; esta distancia será incrementada para entradas adicionales de tubo sobre la misma -- pared de la caja, con la suma de los diámetros de todas las entradas adicionales. En ningún caso la distancia entre dos entradas de tubo que encierren a un mismo conductor será menor de seis veces el diámetro nominal del tubo de mayor diámetro.

Las cajas de jalado y conexión deben estar provistas de tapas adecuadas, de -- acuerdo con la forma y material de las mismas cajas.

Sección 308 - Ductos Metálicos con Tapa

Artículo 308.2 Uso permitido.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Los ductos metálicos con tapa pueden instalarse en locales secos, en forma de -- canalización visible o detrás de plafones o similares que permitan el acceso a la canalización. Cuando se instalen expuestos a la intemperie su construcción debe ser a prueba de lluvia.

Sección 310 - Ductos para Piso.

Artículo 310.8 Empalmes y derivaciones de conductores.

AL CONTESTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS PAGOS CONVENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO





SECRETARIA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

.11

Se añade una excepción a este artículo, quedando como sigue:

Los empalmes y derivaciones deben hacerse únicamente en cajas de conexión,

Excepción. Se permite hacer una derivación dentro del ducto, en el punto donde se inserta una salida para contacto.

Artículo 310.14 Cajas de conexiones.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Artículo 310.14 Cajas de conexión.

Las cajas de conexión deben estar niveladas con el piso terminado y selladas para impedir la entrada libre de agua o concreto. Las cajas de conexión que se usen con ductos metálicos deben ser también metálicas y proporcionar continuidad eléctrica entre los diferentes tramos del ducto.

Artículo 310.16 Cajas de salida.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Los accesorios de acoplamiento para contactos deben estar nivelados y sellados para impedir la entrada del concreto. Los accesorios usados con ductos metálicos deben ser también metálicos y estar eléctricamente unidos al ducto. La unión mecánica de los accesorios con el ducto debe ser rígida.

No se debe cortar la pared del ducto para colocar nuevos accesorios cuando el sistema de ductos ya ha sido instalado y el piso está terminado.

Sección 313 - Extensiones Cortas Visibles

Artículo 313.6 Instalación.

Se modifica el inciso a), quedando como sigue:

- a) De una salida existente pueden sacarse hasta tres extensiones en cualquier dirección, siempre que no sea sobre el piso ni a menos de 5 centímetros de éste. Cada extensión debe tener un recorrido que no exceda de 15 metros y alimentar a un solo dispositivo de salida.

M. CONSULTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO



DEPENDENCIA
-------------

Nº. DE OFICIO	EXPEDIENTE
---------------	------------

ASUNTO:
---------

Sección 505 - Gasolineras (Estaciones de Servicio)

Artículo 505.3 Instalaciones y equipos ubicados dentro de las áreas peligrosas.

Se agrega nota a este artículo, quedando como sigue:

Las instalaciones y equipos eléctricos ubicados dentro de las áreas peligrosas mencionadas en el artículo 505.2, deben cumplir con los requisitos que sean -- aplicables de las Secciones 501 y 502.

Nota. Se recomienda consultar la Norma PEMEX: "Especificaciones Generales para Proyecto y Construcción de Estaciones de Servicio", la cual contiene detalles sobre la instalación de equipo eléctrico en gasolineras.

Sección 506 - Hangares

Artículo 506.2 Areas peligrosas.

Se agrega nota en el inciso c), quedando éste como sigue:

- c) La zona comprendida dentro de una distancia horizontal de 1.50 metros, medida a partir de los motores o los tanques de combustible de aeronaves, debe considerarse como lugar Clase I, División 2. Esta zona debe extenderse desde el nivel del piso hasta una altura de 1.50 metros sobre la superficie -- superior de las alas y las cubiertas de motores de aeronaves.

Nota. Los límites de la zona peligrosa a que se refiere este inciso dependerán del tipo de aeronaves de que se trate, de la forma en que éstas son -- estacionadas y de las operaciones de mantenimiento a ser realizadas dentro del hangar.

Sección 514 - Plantas Generadoras de Usuarios

Artículo 514.3 Local.

Se modifica este artículo como sigue:

Las plantas generadoras de usuarios deben instalarse en un local especialmen

AL CONTESTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO



DEPENDENCIA:

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

te destinado a ellas, o en un local que aloje a otro equipo electromecánico, siempre que se delimite el área de la planta con una cerca, con el fin de -- que tengan acceso sólo personas autorizadas. Dichos locales deben proveer espacio suficiente para la operación y mantenimiento de la planta y contar -- con ventilación adecuada.

Sección 601 - Subestaciones. Requisitos Generales

Artículo 601.5 Medio de desconexión general.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Toda subestación de usuario debe contar, en el lado primario, después del -- equipo del servicio, con un medio de desconexión general que sea adecuado a la tensión y corriente nominales del servicio. Este medio de desconexión general debe ser de operación simultánea y capaz de abrir el circuito bajo -- condiciones de carga máxima.

Excepción 1. En subestaciones con dos o más transformadores, o en subes-- taciones receptoras con varias derivaciones para transformadores remotos, -- puede omitirse dicho medio de desconexión general, siempre que cada trans-- formador o derivación tenga su propio medio de desconexión que cumpla con los requisitos arriba mencionados. Además, los medios de desconexión de-- ben estar siempre adyacentes a la cuchilla seccionadora de paso y al equipo del servicio y unidos a éstos por medio de barras de longitud lo más corta -- posible, que no exceda de 10 m, a fin de minimizar la posibilidad de corto-- circuito en ese tramo de la instalación.

Excepción 2. En el caso de subestaciones compactas de un solo transforma-- dor que requieran ampliarse y no cuenten con espacio suficiente, se permite colocar un segundo transformador por el lado contrario de la "sección del -- equipo del servicio", el cual cuente con su propia cuchilla seccionadora de paso y su propio medio de desconexión.

Excepción 3. En subestaciones intemperie tipo abierto, con un solo transfor-- mador trifásico de 500 kVA o menos, o un banco de transformadores monofá-- sicos equivalente, el medio de desconexión general en el primario puede no ser el tipo de operación simultánea con carga, pero debe instalarse en el -- lado secundario un interruptor automático general.

AL USAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS  
DÍAS ATENDIDAS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARIA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

819-074

DEPENDENCIA:

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

Artículo 601.6 Dispositivo general de protección contra sobrecorriente.

Se modifica este artículo, quedando como sigue:

Además de lo que establece el artículo 601.5 anterior, toda subestación de -- usuario debe contar en el lado primario, después del equipo del servicio, con un dispositivo general de protección contra sobrecorriente que sea adecuado a la tensión y corriente del servicio y cumpla con lo establecido en los artículos 601.7 y 605.7, referentes a la capacidad interruptiva y a la capacidad -- nominal o ajuste de disparo, respectivamente.

En caso de que dicho dispositivo de protección sea un interruptor automático, éste constituye también el medio de desconexión general a que se refiere el artículo 601.5 anterior.

Excepción 1. Puede omitirse dicho dispositivo general de protección contra -- sobrecorriente en el caso señalado en el artículo 601.5, excepción 1, para -- subestaciones con dos o más transformadores o subestaciones receptoras con varias derivaciones para transformadores remotos, siempre que cada transfor-- mador o derivación tenga su propio dispositivo de protección contra sobrecorriente adyacente al medio de desconexión.

Excepción 2. El caso señalado en el artículo 601.5, excepción 2, en el que cada transformador debe contar con su propio dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Sección 605 - Instalación de Equipo Eléctrico Específico en Subestaciones

Se agrega un nuevo artículo a esta Sección:

Artículo 605.7 Ajuste de la protección contra sobrecorriente.

La protección contra sobrecorriente de transformadores (excepto los de medi-- ción y control) debe cumplir con lo establecido en los incisos a) y b) siguientes. Para fines de este artículo, la palabra transformador se aplica a un solo aparato o a un banco de dos o tres transformadores monofásicos operando -- como una unidad.

AL COMPENSAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



DEPENDENCIA:
--------------

Nº. DE OFICIO	EXPEDIENTE
---------------	------------

ASUNTO:
---------

.15

a) Transformadores de más de 600 volts. Cada transformador debe estar protegido en el lado primario con un dispositivo de protección contra sobrecorriente. Cuando se empleen fusibles, su capacidad nominal no debe exceder del 250 por ciento de la corriente nominal primaria del transformador. En caso de emplear un interruptor automático, su ajuste de disparo no debe exceder del 300 por ciento de dicha corriente del transformador.

Excepción 1. Si el 250 por ciento de la corriente nominal primaria del transformador no corresponde a una capacidad normalizada de fusibles, puede usarse el fusible de capacidad nominal inmediata superior.

Excepción 2. Se pueden proteger dos transformadores con un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente, siempre que éste tenga una capacidad nominal o ajuste de disparo que no exceda de los límites arriba establecidos, considerando al transformador de menor capacidad.

b) Transformadores de 600 volts o menos.

b.1) Lado primario. Cada transformador de 600 volts o menos, debe estar protegido en el lado primario con un dispositivo de protección contra sobrecorriente, cuya capacidad nominal o ajuste no exceda del 125 por ciento de la corriente nominal del mismo lado del transformador.

Excepción 1. Cuando la corriente nominal del lado primario del transformador sea de 9 amperes o más y el 125 por ciento de esta corriente no corresponda a una capacidad normalizada de fusible o interruptor automático de tipo no ajustable, puede usarse el dispositivo de capacidad nominal inmediata superior.

Excepción 2. Cuando la corriente nominal del lado primario del transformador sea menor de 9 amperes, puede usarse un dispositivo con capacidad nominal o ajuste hasta del 167 por ciento de dicha corriente. En caso de que la corriente nominal del lado primario del transformador sea menor de 2 amperes, puede usarse un dispositivo con capacidad nominal o ajuste hasta del 300 por ciento de la misma corriente del transformador.

Excepción 3. No es necesario usar un dispositivo individual de protección contra sobrecorriente si el dispositivo del circuito que alimenta al

AL CUMPLIR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARÍA DE  
ENERGÍA Y  
COMERCIO EXTERIOR

DEPENDENCIAS

No. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

transformador proporciona la protección especificada en este subinciso.

Excepción 4: La señalada en el subinciso b.2) siguiente.

b.2) Lados primario y secundario. Un transformador de 600 volts o menos que tenga en el lado secundario un dispositivo de protección contra sobrecorriente cuya capacidad nominal o ajuste no exceda del 125 por ciento de la corriente nominal de dicho lado, no requiere de un dispositivo individual de sobrecorriente en el lado primario, si el dispositivo de sobrecorriente del circuito que alimenta al transformador tiene una capacidad nominal o ajuste no mayor del 250 por ciento de la corriente nominal primaria del transformador.

Excepción 1. Cuando la corriente nominal del lado secundario del transformador sea de 9 amperes o más y el 125 por ciento de esta corriente no corresponda a una capacidad normalizada de fusible o interruptor automático de tipo no ajustable, puede usarse el dispositivo de capacidad nominal inmediata superior.

Excepción 2. Cuando la corriente nominal del lado secundario del transformador sea menor de 9 amperes, puede usarse un dispositivo con capacidad nominal o ajuste hasta del 167 por ciento de dicha corriente.

Artículo 605.14 Uso de desconectadores.

Se modifican los incisos a) y b), quedando éstos en la siguiente forma:

a) Debe instalarse un desconectador, en adición a cualquier otro medio de interrupción, inmediatamente después del equipo del servicio de toda subestación de usuario. (Ver la definición de desconectador en la Sección 101).

Excepción 1. No se requiere desconectador antes de un interruptor que esté montado sobre una unidad compacta de tipo desenchufable, la cual no pueda ser abierta si el circuito está conectado y que, al ser removida de su posición normal de operación, desconecte automáticamente al interruptor de todas las partes energizadas.

Excepción 2. En subestaciones intemperie tipo abierto, con un transformador trifásico de 500 kVA o menos, o un banco de transformadores monofásicos equivalente.

AL CONSULTAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.



SECRETARÍA DE  
COMERCIO Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

DEPENDENCIA:

Nº. DE OFICIO

EXPEDIENTE

ASUNTO:

.17

- b) Se recomienda instalar desconectores en otros puntos donde se requiera abrir líneas o conexiones para maniobras de operación o mantenimiento.

México, D.F., a 22 de abril de 1985.

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS

LIC. HECTOR VICENTE BAYARDO MORENO

AL CONFESAR ESTE OFICIO, CITENSE LA FECHA Y LOS DATOS CONTENIDOS EN EL ANGULO SUPERIOR DERECHO.

RGA\*H.C.R.\*V.L.C.S.\*J.M.S.\*eso.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

SELECCION Y ESPECIFICACION DE CONDUCTORES  
DUCTOS Y ACCESORIOS

ING. LUIS MURCOW ITQUIN

JUNIO, 1985



## SELECCION Y ESPECIFICACION DE CONDUCTORES Y DUCTOS

La función primaria de los conductores es transportar energía entre la fuente y el punto de utilización en forma segura. Esto origina pérdidas en forma de calor que deben ser disipadas y la habilidad para efectuar esta disipación depende de la forma en que los cables son instalados, afectando así su capacidad.

Los cables pueden ser instalados :

CANALIZACIONES  
O TIPO DE  
INSTALACION

Trincheras  
Charolas  
Ductos Subterráneos de Asbesto Cemento o P V C  
Tubería Conduit rígida o flexible  
Ducto cuadrado embisagrado  
Bus ducto o electroducto  
Directamente enterrados  
Preensamblados con mensajero  
Desnudos  
Sobre bastidores o aisladores

Para seleccionar el tamaño del conductor se requiere el considerar la corriente de la carga por conducir y el ciclo de cargas, sobrecargas de emergencia requeridas y su duración, tiempo en que se libran las fallas ( según protecciones ) y la capacidad interruptiva de la protección de sobrecorriente del cable o capacidad de la fuente de alimentación y por último la caída de voltaje para la instalación específica.

Los aislamientos pueden clasificarse en 3 grandes categorías:

Aislamientos Sólidos

Aislamientos de cinta y

Aislamientos para usos específicos

En estas categorías hay aislamientos que cubren una gama de máximas y normales temperaturas de operación y exhiben diferentes grados de flexibilidad, resistencia al fuego y protección mecánica y del medio ambiente.

La instalación de cables requiere cuidado para evitar tensiones excesivas que puedan deformarlos o dañar sus aislamientos o cubiertas.

También debe tenerse cuidado para efectuar las terminales, empalmes y aterrizajes. Deben guardarse las distancias mínimas entre fase y entre estas y tierra, de acuerdo con el nivel de voltaje. Los compartimientos donde se alojan las terminales deben estar bien ventilados o en su defecto si están completamente cerrados deben mantenerse calientes o secos para prevenir condensación ya que ésta en terminales de alto voltaje puede resultar en falla del aislamiento de la terminal y hasta a establecerse el arco.

Muchos usuarios prueban los cables después de su instalación y también lo hacen periódicamente en los más importantes. Los voltajes de prueba son normalmente de C.D. de un nivel recomendado por el fabricante.

#### CONSTRUCCION DE LOS CABLES

Conductores: Los materiales conductores mas comunes son el Cobre y el aluminio. El cobre ha sido usado principalmente por sus propiedades eléctricas y mecánicas y el Al por su relación conductividad - peso que es la mas alta entre los materiales conductores, además de la rápida obtención y bajo costo del metal primario.

La necesidad de una mayor flexibilidad mecánica determina si el conductor debe ser sólido o multifilar y el grado de flexibilidad es función del número total de hilos. Se define como cable un conductor multifilar o una serie de estos conductores aislados y ensamblados entre si.

#### Comparación entre Cu y Al

El Al requiere conductores de mayor tamaño para llevar la misma corriente que el cobre. El cable de Al equivalente al de Cu en terminos de Ampacidad será más ligero en peso y mayor en diámetro. La siguiente tabla muestra la comparación de propiedades :

Conductividad % I A C S a 20 C	100.0	61.0
Resistividad C mil / ft a 20 C	10.37	17.002
Gravedad específica a 20 C	8.89	2.703
Punto de fusión C	10 83	6 60
Conductividad térmica a 20 C (cal. cm. )/ (cm <sup>2</sup> . C seg )	0.94	0.58
Calor específico, Cal/( g. C ) para pesos iguales	0.092	0.23
Para igual resistencia en C.D.	0.184	0.23
Expansión térmica en pulg, ; igual a una constante x 10 <sup>6</sup> x longitud en pulg x F	9.4	12.8
Peso relativo para una misma resistencia de C.D. y longitud	1.0	0.50
Módulo de elasticidad (lbs/in <sup>2</sup> ) x 10 <sup>6</sup>	16	10

Cal = Caloría gramo

I A C S = International annealed copper standard.

El 36% de diferencia en los coeficientes de expansión termica y la diferente naturaleza eléctrica de la película de óxido del Cu y Al requiere ciertas consideraciones en estos diseños de conectores. Una película de óxido de Al se forma inmediatamente en la exposición de una superficie del metal con el aire. Bajo condiciones normales, lentamente desarrolla un espesor en el rango de los 3 a 6 micrómetros y se estabiliza a este espesor.

La película de óxido es esencialmente aislante eléctrico y provee al Al con propiedades de resistencia a la corrosión. El cobre produce su óxido lentamente en condiciones normales y la película es relativamente conductora y no presenta problema real en las conexiones.

Los conectores adecuados para conductores de Al esencialmente tienen áreas de contacto aumentadas y menores esfuerzos por unidad. Estas terminales (conectores) tienen suficiente resistencia para asegurar que la compresión de los hilos del cable excede al punto de deformación y que se efectúa una operación de barrido que destruye la película de óxido para formar un área de contacto íntimo y una baja resistencia.

La entrada de agua a los hilos del cable debe evitarse en todo momento. Cualquier humedad entre los conductores ya sea de Cu ó Al causa corrosión en el metal.

Aislamientos : Los materiales aislantes básicos son orgánicos o inorgánicos y hay una gran variedad de aislamientos clasificados como orgánicos. Los cables con aislamiento mineral emplean el Oxido de Magnesio ( MgO ) que es generalmente el disponible. Los aislamientos de uso común son :

- a) Compuestos termofijos
- b) " termoplásticos
- c) Cintas de papel laminado
- d) Telas barnizadas en cintas laminadas
- e) Aislamientos minerales, granulados sólidos

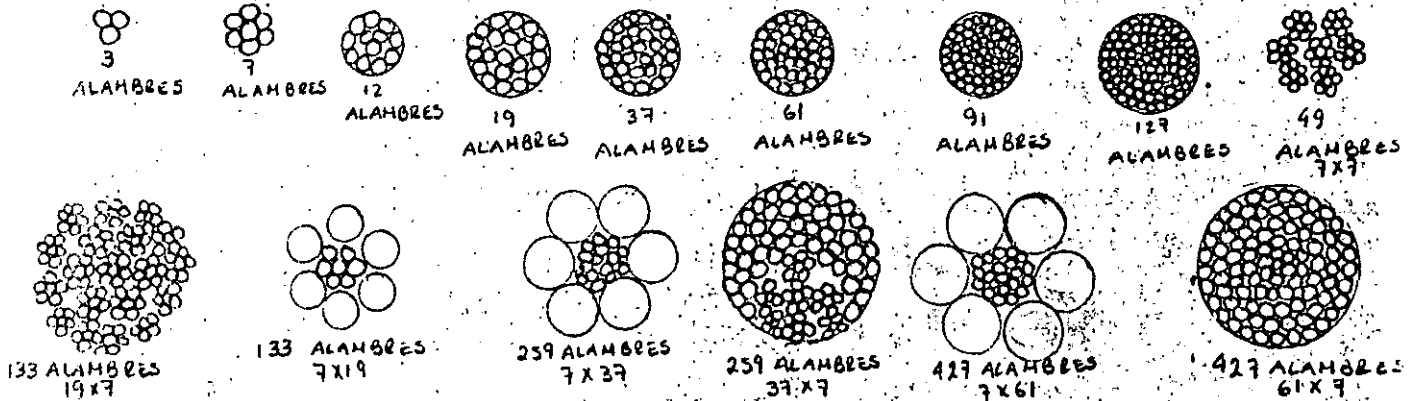
La mayoría de los materiales básicos listados en la siguiente gráfica deben ser modificados entrelazándolos ó mezclándolos con otros para producir las propiedades deseables y necesarias para su manufactura, manejo y finalmente su uso.

Materiales Aislantes Usados en Cables.

NOMBRE	COMPOSICION QUIMICA	PROPIEDADES	
		Eléctricas	Físicas (Mecánicas)
<u>Termofijos</u>			
Polietileno de cadena cruzada.	Polietileno	Excelente	Excelente
E P R	Hule de propileno Etileno (copolimero y terpolímero)	Excelente	Excelente
Butilo	Isopreno isobutileno	Excelente	Buena
S B R	Hule de butadieno estireno	Excelente	Buena
Silicon	Clorosilano de metilo	Buena	Buena
T F E (Teflón o Halon)	Tetrafluoretileno	Excelente	Buena
Hule Natural	Isopreno	Excelente	Buena
Neopreno	Cloropreno	Regular	Buena
Hule clase CP (Hypalon)	Polietileno Clurosulfonado	Buena	Buena
<u>Termoplásticos:</u>			
Polietileno	Polietileno	Excelente	Buena
Cloruro de Polivinilo	Cloruro de Polivinilo ( P V C )	Buena	Buena
Nylon	Polamido	Regular	Excelente

Comparación de Aislamientos : Los factores de envejecimiento como el calor, la humedad y el ozono son los mas destructores de los aislamientos de base orgánica, por lo que las siguientes comparaciones son una mediada de la resistencia y clasificación de estos aislamientos:

- a) Resistencia relativa al calor: En la siguiente figura se muestra el de un período de exposición al calor relativamente corto, a diferentes temperaturas, sobre la dureza característica del material. Se observan diferencias básicas entre los del tipo termoplástico y termofijable, excluyendo el envejecimiento y que son evidentes.



- b) Envejecimiento por calentamiento : El efecto de elongación de un aislamiento o cubierta exterior cuando está sujeto al envejecimiento en un horno con aire circulante es una mediada aceptable de la resistencia al calentamiento. La prueba se hace a 121 C siendo bastante severa, pero con ella se obtiene un método relativamente rápido para clasificar materiales para su uso en conductores de alta temperatura o en áreas afectadas por altas temperaturas de operación ambiente, También se usan hornos a 150 C para efectuar esta prueba, siendo esta más severa, siendo ésta usada para comparar materiales con mayor resistencia al calor.

La tabla siguiente muestra las temperaturas de operación de los diferentes materiales aislantes más comunes :

Aislamiento Tipo	Máxima Clase de Voltaje	Máxima Temp. de operación C	Máxima Temp. se sobrecarga	Máxima Temp. por corto circuito o C
Papel (tipo sólido) muticonductor y sen cillo, con pantalla	9	95	115	200
	29	90	110	200
	49	80	100	200
	69	65	80	200
Tabla de Cambray Barnizada	5	85	100	200
	15	77	85	200
	28	70	72	200
Polietileno	5	75	95	150
	35	75	90	150
Hule SBR	2	75	95	200
Hule de Butilo	5	90	105	200
	15	85	100	200
	35	80	95	200
Polietileno de cadena cruzada X L P	35	90	130	250
Silicon	5	125	150	250
E P R	35	90	130	250
Cloruro de Po	2	60	85	150
livinilo ( PVC )	2	75	95	150
TW y THW	2	90	105	150

c) Resistencia al Ozono y al Efecto Corona : La exposición a condiciones aceleradas, tales como mayores concentraciones de Ozono (  $O_3$  ) o pruebas de -- horno de aire caliente, seguidos de la exposición al ozono a mayores temperaturas, ayuda a medir la resistencia al ozono. Los aislamientos que exhiben superior resistencia al ozono, bajo condiciones aceleradas son el silicon, polietileno, polietileno de cadena cruzada X L P, E P R, y P V C. En realidad estos materiales son, para efectos prácticos, inertes en la presencia del ozono. Sin embargo, este no es el caso con el efecto corona.

Este fenómeno produce efectos concentrados térmicos destructivos junto con la formación de ozono y otros gases ionizados. Aunque el efecto corona -- está asociado con cables arriba de 600 V, en un cable debidamente diseñado y manufacturado no aparecerá daño alguno, al voltaje de operación. Los materiales menos susceptibles que el P V C y el X L P al efecto corona son -- los hules a base de etileno - propileno.

d) Resistencia a la humedad : Aislamientos como el X L P, P V C y E P R - ( etileno - propileno ) exhiben excelente resistencia a la humedad. La estabilidad eléctrica de estos aislamientos en agua es medida por capacitancia y factor de potencia siendo impresionante, por lo que la humedad es poco preocupante.

Aislamientos de uso general : Para voltajes arriba de 2 KV se muestran en la tabla anterior. Dieléctricos sólidos termoplásticos y termofijables -- son mas usados que los de construcción, tipo laminado como los de papel-- plomo que están perdiendo popularidad.

#### DISEÑO DEL CABLEADO :

La selección de cables de potencia para circuitos o alimentadores específicos se desarrolla al deredor de las siguientes consideraciones :

1.- Eléctrica: Esta dicta el tamaño del conductor, tipo y espesor del aislamiento, selecciona los materiales para diseño de bajo y medios voltajes, - considera el esfuerzo dieléctrico, resistencia de aislamiento, capacitancia inductiva ( constante dieléctrica ) y factor de potencia.



- 2.- Térmica : Es compatible con las condiciones de ambiente y sobrecarga, -- expansión y resistencia térmica.
- 3.- Mecánica : Envuelve rudeza y flexibilidad, la consideración de chaqueta- exterior o de armado, resistencia al impacto, aplastamiento, abrasión y - humedad.
- 4.- Química : Para seleccionar por la estabilidad de los materiales si están expuestos a aceites, flamas, ozono, luz del sol, ácido y alcalis.

Una buena instalación obliga a seleccionar un cable de acuerdo con los códigos y reglamentos y según lo anterior y con los datos proporcionados por los fabricantes que tengan equipos de prueba. Laboratorios para asegurar propiedades físicas, --- químicas y eléctricas del producto que venden según lo anterior:

Cables de 600 V : Los cables de fuerza de bajo voltaje nominalmente se hacen - para 600 volts, sin importar si se usan en 120, 240, 277, 480 ó 600 V. La --- selección de estos cables está orientada mas hacia el servicio físico que al- eléctrico. La resistencia al aplastamiento, impacto y abrasión son predomina- tes aunque buenas propiedades eléctricas en lugares húmedos también son impor- tantes.

Aislamiento del tipo hule como el E P R, y el S B R son cubiertos exterior-- mente con chaquetas para protección mecánica, generalmente de P V C, neopre- no Hipsalon.

Se da la siguiente lista como guía, clasificándolos por sus temperaturas de -- operación y cubiertas con los espesores standard :

- a) Aislamiento E P R, chaqueta de neopreno, tipo RHW/RHH, para 75° C máximos - en lugares secos y húmedos y 90° C solo en lugares secos.
- b) P V C, con chaqueta de nylon, tipo THN, para 90° C, en lugares secos.
- c) Butilo, con chaqueta de neopreno, tipo RHW, para 75° C, en lugares secos y húmedos.

d) X L P, sin chaqueta, tipo XHHW, para 75 C, en lugares secos y húmedos. y 90 C en los secos.

e) P V C, sin chaqueta, tipo THW, para 75 C, en lugares secos o húmedos.

f) P V C, con chaqueta de nylon, tipo THWN, para 75 C, en lugares secos o húmedos.

g) S B R, con cubierta exterior de neopreno, tipo RHW, 75 C, lugares secos o húmedos.

h) Cables de varios conductores individuales, armados, con cubierta que se seleccione, para instalar en charola o trincheras, tomando estos cables las características de operación de la cubierta exterior.

También pueden instalarse colgados de un mensajero, entre postes.

Todos los cables mencionados anteriormente pueden usarse en instalaciones al aire en conduit, ducto, enterrados o en charola, siempre y cuando se respeten las características respectivas. Únicamente los cables señalados en los párrafos d) y e) son normalmente restringidos a conduit o ducto.

PANTALLAS: Para voltajes de operación menores a 2 KV, se usan cables sin pantalla y arriba de 8 KV la práctica es usar cables con pantalla, entre los dos voltajes se pueden usar indiferentemente, aunque por razones de costo lo usual son los que no tienen pantalla, aunque siempre es necesario usar la pantalla para :

a) Cables directamente enterrados.

b) Donde la superficie del cable acumula cantidades importantes de materiales conductores ( sal, ceniza, etc. )

La pantalla en cable de energía eléctrica está definida como la práctica de confinar el campo eléctrico del cable al aislamiento que rodea al conductor por medio de capas conductoras o semiconductoras, pegadas tanto a las superficie interior como exterior del aislamiento. En otras palabras, la pantalla exterior confina el campo eléctrico al espacio entre el conductor y la pantalla. La capa interior o blindaje está junto o pegada al potencial del conductor.

La pantalla exterior está diseñada para llevar las corrientes de carga y las de falla generalmente. La conductividad de la pantalla está determinada por su sección transversal y la resistividad de las cintas metálicas empleadas en conjunto con la capa semiconductor. Estas capas de control de esfuerzos eléctricos -- son superficies lisas que reducen las concentraciones y evitan los vacíos que -- pueden producir ionización del aire y dañar progresivamente los aislamientos hasta su falla.

Resumiendo las pantallas sirven para :

- a) Confinar el campo eléctrico dentro del cable.
- b) Igualar los esfuerzos del voltaje dentro del aislamiento, disminuyendo las descargas superficiales.
- c) Mejor protección al cable de potenciales inducidos.
- d) Limitar la interferencia electrostática o electromagnética en radio o TV.
- e) Reducir el peligro de choque eléctrico cuando son aterrizados apropiadamente.

Cubiertas Exteriores : Son usadas para proteger los componentes del cable del medio exterior y de las condiciones de instalación asociadas con el servicio-planeado. La selección de la cubierta para una determinada aplicación se basa en las mismas consideraciones que las del aislamiento como son el eléctrico, mecánico, térmico y químico. Con excepción de instalaciones protegidas y con temperatura interior casi constante, generalmente las condiciones de operación no pueden cubrirse con un solo tipo de cubierta, por lo que el uso de las metálicas y no metálicas combinadas se requieren para la total protección en la instalación y operación. La tabla siguiente muestra las propiedades de cubiertas ( chaquetas )

Material	Resistencia a la Abrasión	Flexibilidad	Baja Temperatura	Resistencia al calor	Resistencia al fuego.
Neopreno	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Hypalon	Buena	Buena	Regular	Excelente	Buena
Polietileno Baja densidad	Regular	Pobre	Pobre	Regular	Pobre
Alta densidad	Excelente	Pobre	Pobre	Buena	Pobre
X L P	Buena	Pobre	Pobre	Excelente	Pobre
P V C	Regular	Buena	Regular	Buena	Regular
Poliuretano	Excelente	Buena	Buena	Buena	Pobre
Asbesto Trenzado	Regular	Buena	Buena	Excelente	Excelente
Nylon	Excelente	Regular	Buena	Buena	Regular

Esta tabla da las propiedades de materiales no metálicos. Cabe hacer notar que entre estos se pueden seleccionar para temperaturas de operación de 55 C a 115 C.

Las chaquetas metálicas están hechas de armador de acero galvanizado, aluminio o bronce; aluminio o plomo extruados. También hay encintados de acero y Al. soldados. El uso de cualquiera de estos materiales, solo o en combinación con otros reduce la flexibilidad del cable. Esta característica debe ser sacrificado para obtener otros beneficios.

Las condiciones de operación e instalación pueden envolver cargas de compresión localizadas, impactos ocasionales de fuentes externas, vibración y posible abrasión, choque térmico del exterior y exposición por largo tiempo de materias corrosivas y condensación.

CAPACIDADES DE CABLES : a) Selección del voltaje :

La selección del aislamiento del cable es hecha sobre la base de voltaje entre fases del sistema en el cual el cable será aplicado y de la categoría general del sistema, dependiendo si el sistema es aterrizado o aislado y del tiempo en que una falla a tierra del sistema es librada. Es posible operar cables en sistemas aislados por largo período con una fase a tierra debido a una falla. Esto resulta en esfuerzos de voltaje entre fases a través de los aislamientos de los cables sin falla. Por lo mismo, estos cables deberán tener un aislamiento más grueso que el usado en un sistema aterrizado, donde es imposible imprimir potencial pleno de línea a línea en las otras líneas sin falla, por un largo período.

Consecuentemente los cables hechos para 100% del voltaje solo son aplicables a sistemas aterrizados que tengan protecciones que libren las fallas a tierra dentro de 1 minuto. Cables para 133 % del voltaje si requieren para sistemas aislados donde el tiempo de libramiento al 100% del voltaje ( 1 minuto ) no se puede obtener pero si se logra dentro de la hora. 173 % del voltaje para el nivel de aislamiento cuando es usado en sistemas donde el tiempo de libramiento de la falla a tierra es indefinido.

b) Selección del Conductor : El tamaño del cable se selecciona de acuerdo con estas consideraciones :

1) El criterio de la corriente de carga está relacionado con las cargas, los requerimientos de los reglamentos correspondientes, efectos térmicos de la corriente de carga, calentamiento mutuo, pérdidas producidas por inducción magnética --

y pérdidas dieléctricas.

2) Criterio de sobrecargas por emergencia.

3) Limitaciones de caída de voltaje.

4) Corriente de falla.

1) CRITERIO POR CORRIENTE DE CARGA : Deben usarse las tablas de ampacidad para voltajes bajos y medios indicados en las Normas de Instalaciones Eléctricas de la Secretaría de Comercio o las de los fabricantes. También podría consultarse el N E C ( National Electric Code ) . Estas son derivadas del I E E E, Ampacidades de Cables de Fuerza, No. 5 135 1 1962 para cables de cobre y S-132-2-1962 para Al.

Todas las tablas muestran el tamaño mínimo de conductor requerido, pero una ingeniería conservadora, consideraciones sobre el crecimiento de la carga, caída de voltaje y el calentamiento por corto-circuito pueden hacer necesario el uso de conductores mayores.

Debe analizarse el uso de grandes grupos de cables, ya que puede ser limitante el degradamiento debido a calentamiento mutuo.

El uso de Cables de 500 a 750 MCM requiere el considerar en poner en paralelo dos o mas cables menores porque la capacidad de conducción / circular mil del conductor decrece en C.A. debido al efecto superficial y al de proximidad. La reducida relación de superficie a sección transversal de los conductores grandes es un factor en la habilidad reducida del cable más grueso para disipar el calor.

Cuando se usan los cables en forma multiple debe considerarse la posición de las fases, para disminuir los efectos de la mala distribución de la corriente en los cables, que reducirá su ampacidad. Aunque el costo del cable puede ser menor para dos conductores menores, este ahorro puede sobrepasarse por el mayor costo de instalación.

El uso del concepto, factor de carga en instalaciones subterráneas toma en cuenta la capacidad térmica del banco de ductos y el terreno que los rodea, que responden al promedio de pérdidas por calor. Las temperaturas en la sección subterránea serán proporcionales a las pérdidas promedio, permitiendo así mas períodos cortos de cargas grandes.

Para cables directamente enterrados, la temperatura promedio en la superficie está limitada de 45 - 60 C, dependiendo de la condición del terreno, previniendo migración de humedad y dispersión térmica.

Los cables se degradan cuando están próximos a otros cables cargados o a otras fuentes de calor, o cuando la temperatura ambiente excede la de las tablas en que está basada la ampacidad.

La temperatura ambiente normal de una instalación de cables es la que el cable asumirá en el lugar sin llevar carga. A menos que las condiciones precisas sean especificadas, las siguientes temperaturas ambientes son las más comunes para el cálculo de la capacidad de conducción de corriente.

1) INTERIORES : Las tablas de ampacidad están basadas en una temperatura ambiente de 30 C para cables de bajo voltaje. Pero esta temperatura es baja en muchos lugares para los meses de verano. Existen algunas tablas basadas en 40 C de temperatura ambiente. En cualquiera de los casos específicos es preferible usar la temperatura medida y si no usar la de 40 C para mayor seguridad.

Las fuentes de calor adyacentes a los cables también deben ser considerados en el cálculo de la capacidad de corriente. Esto se efectúa corrigiendo la temperatura ambiente para estos puntos calientes localizados. Esto puede suceder en cuartos de calderas o líneas de vapor paralelas a los cables. La relocalización de los cables es una solución para evitar este problema.

2) Exteriores : Una temperatura ambiente de 40 C, es la usada como la máxima para cables instalados en la sombra y 50 C para los instalados al sol. Cuando se usan estas temperaturas se supone que la máxima carga ocurre durante el tiempo en que se han supuesto las mencionadas temperaturas ambientes. Algunos circuitos probablemente no lleven su carga plena durante el tiempo más caluroso del día, por lo que una temperatura ambiente de 40 C es suficientemente segura para los cálculos correspondientes.

3) Subterráneos : La temperatura ambiente usada para cables subterráneos varía en diferentes lugares del país. En general, deberá usarse 25 C para las partes centrales altas y 30 C en las demás.

La temperatura deberá medirse en la tierra en un punto alejado de fuentes de calor, a la profundidad en la cual el cable deberá ser enterrado.

Las características térmicas del medio que rodea al cable son de primera -- importancia en determinar la capacidad de conducción de corriente de los cables.

El tipo de terreno en el cual el cable o banco de ductos tienen un efecto --- importante en la capacidad de los cables. Terrenos porosos tales como gravas o arenas gruesas, generalmente resultan en mayores temperaturas y menores ampacidades, que los de arena normal o arcilla. El tipo de terreno y su resistividad térmica - deben conocerse antes de calentar el tamaño del conductor.

El contenido de humedad de la tierra también tiene un efecto mayor en la capa , capacidad de los cables. En las partes secas, los cables deberán degradarse o tomar - otras precauciones para compensar por el aumento en la resistividad térmica debido a la falta de humedad. Por otro lado, en tierra que esta continuamente húmeda, o - en condiciones de flujos y reflujos, los cables pueden llevar corrientes mayores - que las normales.

Debe usarse pantalla metálica para cables desde 2400 V. que están continuamen te húmedos o alternados los periodos secos o húmedos a menos que los cables estén- específicamente diseñados para soportar humedad pantalla.

Selección de Cables por la Sobrecarga de Emergencia : Los límites normales - de carga de un cable o un alambre aislado están basados en muchos años de experien cia práctica y representan la relación del deterioro que resulta en vida más eco- nómica y útil para dichos sistemas de cables. La relación de envejecimiento espe- ra que desarrolle una vida útil de 20 a 30 años. La vida del aislamiento de un ca- ble es disminuída a la mitad de la relación promedio de fallas térmicas del servi- cio se van al doble por cada 5 a 15 C de aumento en la temperatura diaria normal- de carga. Adicionalmente, una operación sostenida arriba de las temperaturas máxi- mas de operación permitidas o señaladas en tablas o de las ampacidades, no es una- manera económica o efectiva, porque el aumento de temperatura es directamente pro- porcional a la pérdida en el conductor, que a su vez aumentan con el cuadrado de - la corriente.



La mayor caída de voltaje también puede aumentar los riesgos al equipo y a la --  
continuidad del servicio.

Se ha establecido que la operación de las temperaturas de sobrecarga de emergen-  
cia no excedan 100 horas / año y dichos períodos no deben ser más de cinco durante la  
vida útil del cable. La siguiente tabla da temperaturas y factores para sobrecargas  
cortas para varios tipos de cables aislados. El factor de aumento de las caracterís-  
ticas normales de operación multiplicado por la corriente nominal en la instalación --  
específica, dará la sobrecorriente o corriente de sobrecarga para el caso particular.

Selección del Conductor por Caída de Voltaje : El conductor si no es de te calibre, causaria excesiva caída de voltaje en el sistema y la caída será directamente proporcional a la longitud del circuito. El arranque y operación de motores, equipo de alumbrado y otras cargas que tienen fuertes corrientes de excitación (in- deben ser consideradas. Se recomienda que la caída de voltaje en operación estable ( sin transitorios ) en alimentadores de fuerza, calefacción o alumbrado sea no mayor de 3% y la caída total, incluyendo troncales y ramales son de no más de 5 %

Selección por corriente de falla : Bajo condiciones de corto circuito, la temperatura del conductor aumenta rápidamente. Entonces por características térmicas del aislamiento y el medio circundante, se enfría lentamente después que se ha eliminado la falla. La asociación Internacional de Ingenieros de Cables Aislados ha recomendado como límite de temperatura, para cada tipo de aislamiento, un corto circuito con un tiempo de duración no mayor de 10 segundos.

La falta de revisión del calibre del conductor por calentamiento por corto circuito puede resultar en un daño permanente al aislamiento del cable; debido a la desintegración del material, que puede ir acompañado por humo y generación de vapores combustibles. Estos vapores, si estan suficientemente caliente, se encenderán, iniciando un posible incendio, a veces muy serio, en un paso intermedio, el aislamiento o recubrimiento del cable puede expanderse, produciendo vacios, llevando a fallas posteriores. Esto es importante especialmente en cables de 5 KV y mayores.

Además de los esfuerzos térmicos, también se originan esfuerzos mecánicos debidos a la expansión por el calentamiento. Como el calentamiento por corto circuito es rápido, estos esfuerzos resultan en movimientos indeseables del Cable. Sin embargo, los cables modernos con capas de refuerzos reducen los efectos de dichos esfuerzos. Dentro del rango de temperaturas esperadas, con coordinación seleccionada y aplicada, los aspectos mecánicos normalmente pueden olvidarse con excepción de los cables muy viejos o los cubiertos de plomo,

Cuando hay corriente de corto circuito o pulsatorias ( como hornos eléctricos ) - de gran dimensión, en cables monoconductores, estos están sujetos a fuerzas de atracción o repulsión de unos con respecto a otros, Por lo mismo, los cables colocados en charolas, o soportes deberán sujetarse para evitar daños por los esfuerzos mecánicos.

La tabla siguiente indica los calibres mínimos requeridos para varias corrientes de corto circuito y tiempos en que se libran las fallas.

También se muestran las temperaturas iniciales y finales para varios aislamientos. En tabla precedente se dieron temperaturas de operación para los varios aislamientos.

### Instalación de Cables

Hay diversas formas de instalar cables de fuerza en plantas industriales, siendo responsabilidad del ingeniero el seleccionar el método más adecuado para su aplicación, en cada caso. Cada manera podrá transportar energía con un grado único de confiabilidad seguridad economía y calidad para cualquier conjunto de condiciones específicas. Estas condiciones incluyen la cantidad y características de energía a ser transmitida, la distancia de transmisión y el grado de exposición a condiciones mecánicas y ambientales adversas.

Disposición : La primera consideración al efectuar la distribución de los sistemas de cables, es hacer que la distancia entre la fuente y la carga sea la más corta posible. Esta consideración debe ajustarse tomando en cuenta otros factores importantes para llegar al sistema de menor costo que operará dentro de la confiabilidad, seguridad, economía y comportamientos requeridos. Otros factores a considerar para varias rutas son el cable adicional y ducto contra el costo de más soportes y la protección mecánica inherente en una alternativa contra la protección adicional requerida en otra forma y alejamiento de otros obstáculos y la necesidad de revisiones futuras, etc.

Cable Desnudo : Esta manera fue usada extensamente en el pasado, aunque todavía es bastante usual, sobre todo en distribución primaria de grandes áreas, donde las condiciones son adecuadas.

Este tipo de instalación consiste de conductores sin aislar, sobre aisladores y bastidores, montados sobre postes o estructuras. El conductor puede estar desnudo o cubierto ( no aislado ) para protección de corrosión o abrasión.

Los atractivos de este método son el bajo costo inicial y el hecho de que el daño puede ser detectado y reparado rápidamente. Por otro lado, los conductores, sin aislar son un riesgo seguro y son altamente susceptibles de daños mecánicos e interrupciones por pájaros, otros animales ( gatos ), rayos etc. Es un riesgo mayor donde se usan grúas. En muchas áreas la contaminación sobre aisladores y corrosión en cables resulta en alto costo de mantenimiento.

También debido al mayor espaciamiento entre conductores, se tienen reactancias mayores que resultan en mayores caídas de voltaje.

Este problema se resuelve con voltajes mayores y circuitos de alto factor de potencia.

Estas instalaciones son más susceptibles de interrupciones por rayos que otros tipos. El efecto atmosférico puede reducirse con el uso de cables de guarda a tierra y pararrayos.

Cable aéreo aislado: Los cables aéreos aislados se usan cada vez más en instalaciones industriales. La mayor ganancia consiste en reponer cable desnudo donde se necesita más seguridad y confiabilidad y menos espacio entre conductores. Los cables debidamente protegidos no son un riesgo seguro y no se dañan fácilmente por contacto casual pero sin embargo, tienen las mismas objeciones que los desnudos en lo concerniente a separación vertical.

Estos cables son usados con más frecuencia en lugar de los sistemas de conduits -- más costosos, donde no es necesario el alto grado de protección mecánica requerida. ---

También son más económicos para distancias grandes, para uno o dos cables, que los cables que se colocan sobre charolas.

Debe tomarse en cuenta que cable aéreo que está una porción dentro de conduit debe degradarse su ampacidad para cumplir con esta condición.

Estos cables pueden instalarse autoportados o con mensajero.

Pueden sujetarse a líneas de postes o estructuras. Los cables autoportados deben tener alta resistencia a la tensión para este propósito. Los cables pueden ser colgados mensajeros simplemente envolviendo una cinta de acero al rededor de los cables y el mensajero o jalando el cable dentro de anillos suspendidos del mensajero. El primer método de la cinta espiral es usado para cables ensamblados en fábrica y ambos son usados para armado en el lugar.

El cable auto - soportado es usado para claros relativamente cortos.

Los colgados de mensajero son para grandes distancias, dependiendo del peso del -- cable y la resistencia a la tensión del mensajero. El mensajero es capaz de resistir grandes esfuerzos ocasionados por los cambios climáticos o choques. También sirve como el conductor de tierra del circuito de fuerza.

Cables soportados directamente : Este es un método de bajo costo, donde existen superficies adecuadas entre la fuente y la carga, para soportar los cables. Esto es muy útil en combinación con otros métodos tales como derivaciones de cables con charolas y cuando se agregan nuevos circuitos a instalaciones existentes. Su uso en edificios comerciales se limita a cables de control y circuitos telefónicos.

Este método emplea cables multiconductores soportados a superficies de vigas estructurales y columnas. Cuando está expuesto a condiciones mecánicas adversas deben usarse cables con cubiertas metálicas. Por razones arquitectónicas este método se limita a áreas de servicio, plafones falsos y ductos de cables.

### CHAROLAS :

Una charola es un conjunto de secciones y sus conexiones, metálicas o de otros materiales no combustible, formando una estructura rígida continua usada para soportar cables. Estos soportes pueden correr en forma horizontal, vertical pasamuros y se están haciendo cada vez más populares sus sistemas eléctricos, por las siguientes razones : Bajo costo de instalación, flexibilidad, acceso fácil a reparaciones y adiciones de cables y ahorro de espacio cuando comparadas con conduits decide un gran número de circuitos con ruta común son necesarios.

Las charolas se encuentran en diversos tipos y materiales. Debe estudiarse con cuidado la selección del mejor sistema para la instalación programada, para obtener el menor costo.

Las cubiertas, ventiladas o no pueden usarse cuando se necesitan mayor protección mecánica o pantalla eléctrica adicional, donde hay circuitos de comunicaciones. También hay charolas con barreras para separación de voltajes y con recubrimientos especiales anticorrosivos.

Cuando hay pasos a través de muros, se deben instalar sellos que impidan o disminuyan la propagación de las flamas. El diseño de la charola debe considerar el espacio de ocupación y permitir espacio adicional para expansiones.

Si se instalan conjuntos de charolas verticalmente, es una buena práctica separar los cables por voltajes, localizando los de bajo voltaje en las inferiores y voltajes-ascendentes en el mismo orden de charolas.

En un sistema multifásico, todos los conductores deberán agruparse contiguamente y en la misma charola.

#### BUS DE CABLE :

El bus de cable es usado para transmitir grandes cantidades de energía a distancias cortas relativamente. Es el reemplazo más económico de los ductos blindados. También ofrece mayor confiabilidad y seguridad y menor mantenimiento que los cables desnudos, o los buses blindados.

El bus de cable es algo intermedio entre cables en charolas y bus blindado. Consiste de conductores aislados dentro de un ducto similar a la charola con cubierta. Los conductores son soportados con espaciadores como bloques de material no metálico. Los buses de cable son suministrados en componentes que se puedan armar en el campo o en secciones completamente armadas. Las secciones completamente armadas son las mejores si la ruta es bastante corta de tal manera que se puedan evitar los empalmes. Las secciones que requieren uniones deben sustituirse preferiblemente por conductores continuos.

El espaciamiento de los conductores debe ser tal que se obtenga la máxima capacidad de los cables. Este espaciamiento también debe ofrecer baja reactancia, con un mínimo de caída de voltaje.

#### CONDUITS :

Sistemas de conduits rígidos de acero ofrecen un alto grado de protección mecánica en instalaciones al aire. Desafortunadamente, este sistema es de alto costo relativamente y por ésta razón su uso es superado, cuando es posible, por otros tipos de conduit y alambrados. Cuando sea necesario, conduit de aluminio rígido, tubo de acero de pared delgada, de plástico, de fibra y de asbesto cemento deben usarse. Algunos son de acabados esmaltados o galvanizados.

Los sistemas de conduits ofrecen cierta flexibilidad al permitir el reemplazo de conductores existentes. Sin embargo, en caso de fuego o fallas puede ser imposible sacar los conductores y por lo mismo será necesario reemplazar conduit y cables a gran costo y retraso. También en incendios, los conduits pueden transmitir humos corrosivos a lugares donde pueden hacer mucho daño por lo que en ciertos tramos deben instalarse sellos.

En conduits magnéticos, un número igual de conductores por fase debe ser instalado, de otra forma puede haber pérdidas y calentamiento excesivo. Como regla, nunca debe instalarse un solo conductor dentro del conduit de acero.

Los ductos subterráneos son usados donde es necesario un alto grado de protección mecánica. También existe esta opción cuando el costo es menor que con soportes al aire, pues para esto lo más conveniente enterrar directamente el cable.

Los ductos subterráneos pueden ser de acero, plástico, fibra asbesto-cemento y concreto, encapsulados en concreto. Cuando no se necesita la protección del encapsulado de concreto para resistencia mecánica, también se pueden instalar tubos de fibra o asbesto-cemento de pared gruesa, enterrados directamente como lo son los de acero.

Los cables que se usan en instalaciones subterráneas deben ser apropiados para áreas húmedas. Cuando existe una distancia relativamente larga entre la entrada del punto de servicio y la carga, los conductores deben ser colocados bajo una losa de concreto de 5 cm. cuando menos o dentro de un conduit o ducto, encapsulados con concreto, también de 5cm. de grueso.

Cables enterrados directamente : Este método se usa donde es poca o nula la necesidad de mantenimiento, ni es necesaria la protección mecánica de un conduit. Los cables que se usen deben ser apropiados para esto, resistentes a la humedad, al aplastamiento, a los contaminantes del suelo, a los insectos y a los roedores. Este es un método más económico que el de bancos de ductos. En vista de que es difícil de mantener por su poca accesibilidad, la capacidad de conducción de corriente deberá ser mayor que la de cables en ductos. Su uso debe limitarse a lugares donde no pueda ser dañado, pero si existe este peligro deberá ser debidamente protegido. El problema de mantenimiento en estos sistemas ha disminuído, con los nuevos equipos de localización de fallas y los nuevos métodos y materiales para reparación.

MÉTODOS DE INSTALACION : Debe tenerse cuidado con la instalación de trncheras, de tal forma que no existan aristas filosas que corten o desgasten el cable cuando es jalado. También es importante no exceder la tensión máxima y resistencia a la presión de las paredes del cable cuando es jalado.



Esto puede disminuirse acortando la longitud de cada jalada y reduciendo el número de dobleces. La fuerza requerida para jalar un cable de cierta longitud puede disminuirse aplicando un compuesto lubricante que no ataque a los cables al meterlo en conduits y también con el uso de rodillos en las charolas.

Si el cable es jalado por los conductores, la tensión máxima está limitada a 0.008 veces el área de los conductores en circular mills. Esta tensión deberá ser menor si se jala el cable con tensores, de la cubierta exterior.

Una tensión de 1000 Ibs es un valor razonable para el jalón del cable, por tensor o graba, pero nunca debe excederse, la tensión calculada para ese conductor.

Las presiones laterales en conductores sencillos limita la tensión de jalado a 450 Ibs x diámetro del cable en pulg. x radio de curvatura en pies, para cables triplex o duplex se usarán los diámetros del conductor sencillo y 225 y 675 Ibs. respectivamente en vez del mencionado anteriormente.

Para instalaciones en ductos con muchas curvas, es preferible alimentar el cable desde la punta proxima a la mayoría de curvas y en la que la fricción a través de la porción mayor del ducto sin curvas no tiene importancia y después jalar del otro extremo. Sin embargo, es preferible calcular la fuerza de tensión para instalar el cable desde cualquier extremo de la ruta y luego instalarlo desde la punta de menor tensión.

El radio mínimo de curvado para cables con cinta metálica, normalmente se toma como de 12 veces el diámetro del cable. Los cables con cubierta no metálica pueden doblarse a la mitad del radio antes considerado, cuando menos, sin dañar los componentes del cable.

Cuando se instalan cables subterráneos en localidades húmedas, los extremos del cable, deberán sellarse para prevenir la entrada de humedad a los hilos del cable.

Estos sellos deberán dejarse enteros o rehacerse después del jalado, si son dañados hasta que se hagan empalmes o terminales y se pruebe satisfactoriamente. Esto se hace para evitar corrosiones innecesarias en los conductores e impedir la formación de vapor en condiciones de sobrecargas, cargas de emergencia y condiciones de corto-circuito, después de la puesta en operación del cable.

### CONECTORES :

Tipos : Los conectores se clasifican como térmicos o de presión, dependiendo del método de colocación al conductor. Los conductores térmicos usan calor para efectuar terminales soldadas en diferentes formas o fundidas y las abrazadas.

Las terminales soldadas con estaño son las más antiguas y de uso conocido.

También se pueden soldar los conectores de Al con los materiales y técnica apropiados, aunque estos no son muy comunes. Las terminales de Al soldadas con arco a cable de Al hacen una terminación satisfactoria para cables mayores de 4/0. Los entorchados y las soldaduras con plata de cables de CU son usadas particularmente para conexiones, subterráneas con conductores desnudos tal como los encontrados en sistemas de tierras. Los equipos de soldadura térmica que utilizan moldes de carbón también se usan para efectuar conexiones con cable de cobre desnudo en sistemas de tierras y para uniones que serán de bajo grado de calidad. Este tipo de soldaduras ha sido probado también en forma satisfactoria para fijar conectores a cables de fuerza aislados.

Los conectores mecánicos y de compresión son usados para hacer uniones en conductores eléctricos también. Los del tipo mecánico obtienen la presión para fijar el conector al cable de un tornillo integral un cono y de otras partes mecánicas. El conector mecánico aplica fuerza y la distribuye sutilmente con el uso de birlos y tornillos en secciones debidamente diseñadas. El diámetro y número de los Birlos se seleccionan para producir el agarre y la presión de contacto requerida para los diseños más satisfactorios. Las secciones son hechas en forma robusta suficientes para llevar la corriente nominal y soportar las condiciones de operación mecánicas.

Los conectores de compresión son aquellos en los cuales la presión de agarre al conductor es aplicada externamente, cambiando el tamaño y forma de conector y del conductor. El conductor de compresión es básicamente un tubo con el diámetro interior ligeramente mayor que el diámetro exterior del conductor. El grueso de pared del conector se diseña para llevar la corriente, soportar los esfuerzos de instalación y los esfuerzos mecánicos que resultan de la expansión térmica del conductor. La punta se hace comprimiendo el conductor y el tubo para dar otra forma por medio de una herramienta y un dado espacialmente diseñado. La forma final puede ser inventada, copa hexagonal, circular u oval.

Todos los métodos tienen en común la reducción en área de la sección transversal aumentando la presión de contacto y asegurando ésta su duración. Los conectores pequeños se aplican con una pequeña herramienta de mano. Los conectores de dimensiones mayores se fijan con herramientas de compresión hidráulicas.

Una unión debidamente comprimida deforma los hilos del conductor de tal forma que se obtiene una buena conductividad eléctrica y resistencia mecánica suficiente, no tanto como para sobrecomprimir los hilos del cable debilitando la unión.

Los conectores mecánicos y de compresión también se encuentran y usan como distribuidores. Muchos tienen una cubierta aislante independiente. Después de hacer la conexión, la cubierta se ensambla sobre la unión para aislar y para algunos casos para sellarlos del medio ambiente.

Conectores para Aluminio : Los conductores de Al son diferentes de los de Cu en varias formas y esto debe tomarse en cuenta al especificar y usar conectores para cables de Al ( ver tabla de propiedades de cables de Cu y Al ). La capa de óxido normal en el Al es de alta resistencia relativamente. El Al tiene un coeficiente de expansión mayor que el del Cu. La resistencia para comprimir el Al es diferente de la correspondiente al Cu. En el Al la corrosión aparece bajo algunas condiciones porque el Al es anódico a otros metales de uso común incluyendo el Cu, cuando hay la presencia de electrolitos como la humedad del aire.

Propiedades mecánicas y resistencia a la compresión : La compresión en los conectores se ha definido como la deformación continua del material bajo esfuerzos. El efecto de una compresión excesiva resultante del uso inadecuado que aplica esfuerzos excesivos puede llevar al relajamiento de la presión de contacto dentro del conector y resultando en el deterioro y falla de la conexión eléctrica. Los conectores para alambre de Al pueden acomodar un rango de tamaños de conductores, siempre y cuando el diseño tome en cuenta la presión residual y tanto el mínimo como el máximo de los conductores. La película de óxido de Al superficial, aún cuando es delgada, tiene una alta resistencia eléctrica y por lo tanto debe ser removida para asegurar una junta eléctrica satisfactoria. Esta película puede ser removida usando un cepillo de alambre, fibra de acero, lija o cualquier otra herramienta o material abrasivo. Una superficie plateada en conector o en bus, nunca debe ser lijada. Debe limpiarse con un solvente o por otros medios que no afecten el plateado.

Algunos conectores de Al son llenados con un componente que tiene partículas que ayudan a obtener baja resistencia de contacto. Estos compuestos actúan para sellar las conexiones contra oxidación y corrosión previniendo que el aire y la humedad lleguen a las superficies del contacto.

La conexión entre las capas interiores de alambres del conductor requieren la formación de estas capas en la presencia del compuesto sellante, para evitar la formación de la película de óxido.

Expansión Térmica : El coeficiente lineal de expansión térmica del Al es mayor que el de Cu y es importante el diseño de conectores de conductores de Al. A menos que así se haya hecho el diseño del conector, el uso de metales con coeficientes de expansión menores que el del Al puede resultar en grandes esfuerzos en el Al durante los ciclos de calentamiento, causando deformaciones plásticas adicionales y deformaciones significantes. Los esfuerzos pueden ser grandes, no solamente por la diferencia en los coeficientes de expansión, sino también porque el conector puede operar a una temperatura apreciablemente menor que la del conductor. Esta condición puede agravarse si se usan birlos o tornillos de metal de diferentes características de expansión térmica que el del conector.

Corrosión : La corrosión directa de agentes químicos afecta el Al igualmente que al Cu y en algunos casos menos, sin embargo siendo el Al más anódico que otros metales conductores comunes, la oportunidad existe para corrosión galvánica en presencia de humedad y un metal más catódico. Si esto ocurre, una trayectoria húmeda debe existir entre las superficies externas de los dos metales en contacto para crear una célula eléctrica a través del electrolito ( humedad ) resultando en erosión del más anódico de los dos y en esta instancia, generalmente es el Al.

La corrosión galvanica puede ser disminuída con el uso apropiado de un compuesto para evitar la humedad en los puntos de contacto de los dos metales diferentes. El uso de grandes áreas ( relativamente ) y masas anódicas disminuye los efectos de la corrosión galvánica. Los conectores con baño de Al deben ser protegidos con una cinta u otro medio sellante.

Por todos los puntos expuestos anteriormente, es importante que se usen los conectores debidamente diseñados y aprobados en los Laboratorios que tienen el equipo adecuado y que en conjunto con el fabricante den las garantías suficientes para una buena conexión.

Terminales de Al soldadas : Para cables de Al de 250 MCM y mayores con capacidad para grandes corrientes se pueden hacer terminaciones excelentes soldando conectores especiales al cable.

Esto se hace mejor con el método del gas inerte ( argón) en soldadura de arco. - El uso de gas inerte elimina la necesidad de cualquier fundente al hacer la soldadura. El conector soldado es más corto que el de compresión porque el barril para fijar el cable puede ser muy corto. Tiene entonces la ventaja de requerir menos espacio en - cajas de uniones o terminales de equipos eléctricos. Otra ventaja es la reducida resistencia de la conexión. Cada hilo del cable es unido a la terminal, resultando una trayectoria continua para la corriente desde cualquier punto del cable.

La soldadura de estas terminales a los cables, se puede hacer también con electrodo de tungsteno y equipo de C. A. El método de arco de tungsteno, es más lento pero - es más controlable para trabajos pequeños.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT  
AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER

ING. MAURICIO SIERRA DUPONT

MAYO, 1985

**CHART 1**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**150 KVA**

Dist. Ft.	WIRE SIZE (COPPER)																								
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM		
208 VOLTS	0	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	10710	
	5	5510	7050	8320	9260	9750	10080	10330	10380	10420	10450	10580	10470	10490	10600	10640	10510	10610	10640	10640	10530	10620	10550	10670	
	10	3310	4710	6260	7670	8710	9400	9950	10050	10130	10190	10450	10240	10280	10490	10570	10330	10510	10580	10580	10370	10540	10400	10630	
	25	1460	2230	3320	4700	6180	7500	8820	9090	9300	9460	10070	9590	9670	10170	10370	9790	10230	10390	10400	9890	10290	9970	10510	
	50	750	1170	1810	2730	3930	5320	7220	7690	8070	8370	9460	8620	8760	9670	10050	9000	9790	10080	10110	9180	9890	9320	10320	
	100	380	600	940	1460	2200	3220	5090	5690	6220	6680	8370	7070	7310	8760	9450	7700	9000	9510	9570	8010	9180	8740	9970	
	200	190	300	480	750	1160	1770	3100	3670	4140	4640	6690	5100	5400	7310	8400	5910	7700	8520	8620	6340	8010	6670	9320	
	500	80	120	190	300	480	740	1390	1680	2010	2350	4000	2700	2950	4760	6210	3430	5290	6420	6580	3860	5740	4230	7180	
	1000	40	60	100	150	240	380	720	880	1070	1280	2350	1500	1670	2950	4260	2000	3430	4490	4670	2320	3860	2620	6090	
	5000	10	10	20	30	50	80	150	180	220	270	540	330	370	720	1180	460	880	1280	1370	550	1060	640	2200	
240 VOLTS	0	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	
	5	5840	7200	8230	8900	9300	9530	9720	9750	9780	9800	9900	9820	9830	9910	9940	9850	9920	9950	9950	9870	9930	9880	9970	
	10	3670	5080	6520	7700	8520	9030	9430	9510	9570	9610	9800	9650	9670	9830	9890	9710	9850	9900	9900	9740	9870	9760	9940	
	25	1660	2520	3680	5060	6430	7550	8580	8780	8930	9050	9520	9150	9210	9590	9740	9300	9640	9760	9770	9380	9680	9430	9950	
	50	860	1340	2050	3050	4290	5630	7280	7660	7960	8200	9050	8390	8500	9210	9500	8680	9300	9520	9540	8820	9380	8930	9710	
	100	440	690	1070	1660	2480	3560	5390	5930	6400	6790	8200	7110	7300	8500	9030	7620	8680	9080	9130	7870	8820	8050	9430	
	200	220	350	550	860	1330	2000	3420	3940	4450	4920	6790	5350	5620	7300	8200	6070	7620	8300	8370	6440	7870	6720	8930	
	500	90	140	220	350	550	850	1580	1900	2250	2610	4310	2980	3230	5090	6340	3710	5500	6520	6660	4130	5900	4470	7690	
	1000	40	70	110	180	280	430	830	1010	1220	1440	2610	1690	1870	3230	4530	2220	3710	4740	4920	2560	4130	2860	6710	
	5000	10	10	20	30	50	80	150	180	220	270	540	330	370	720	1180	460	880	1280	1370	550	1060	640	2200	
480 VOLTS	0	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	
	5	4480	4690	4810	4880	4920	4940	4960	4970	4970	4970	4990	4980	4980	4990	4990	4980	4990	4990	4990	4980	4990	4980	4990	
	10	3900	4320	4590	4740	4830	4890	4930	4940	4940	4950	4970	4950	4960	4980	4990	4960	4980	4990	4990	4970	4980	4970	4990	
	25	2560	3280	3880	4300	4550	4700	4820	4850	4860	4880	4940	4890	4900	4950	4970	4910	4950	4970	4970	4970	4920	4960	4920	4980
	50	1530	2190	2910	3580	4070	4390	4640	4690	4730	4760	4880	4780	4800	4900	4930	4820	4910	4940	4940	4840	4920	4850	4960	
	100	830	1260	1840	2530	3210	3770	4290	4390	4470	4530	4760	4570	4600	4800	4870	4650	4820	4880	4880	4690	4840	4720	4920	
	200	430	670	1020	1520	2150	2820	3640	3830	3980	4100	4530	4190	4250	4600	4750	4340	4650	4760	4770	4410	4690	4460	4850	
	500	170	260	430	670	1020	1500	2360	2640	2890	3110	3900	3290	3400	4090	4410	3590	4200	4440	4460	3730	4280	3840	4650	
	1000	90	140	220	350	540	820	1430	1680	1920	2150	3110	2370	2510	3400	3920	2750	3590	3970	4020	2950	3730	3100	4350	
	5000	20	30	50	70	110	170	330	410	490	590	1090	690	770	1370	1980	930	1590	2080	2170	1080	1790	1210	2830	
600 VOLTS	0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
	5	3750	3850	3900	3940	3960	3970	3980	3980	3980	3990	3990	3990	3990	3990	4000	3990	3990	4000	4000	3990	3990	3990	4000	
	10	3450	3670	3800	3870	3910	3940	3960	3970	3970	3970	3990	3980	3980	3990	3990	3980	3990	3990	3990	3980	3990	3980	3990	
	25	2610	3100	3440	3650	3780	3850	3910	3920	3930	3940	3970	3940	3950	3970	3980	3950	3970	3980	3980	3960	3980	3960	3990	
	50	1730	2320	2860	3270	3530	3690	3820	3840	3860	3870	3940	3890	3890	3950	3970	3910	3950	3970	3970	3920	3960	3920	3980	
	100	990	1460	2020	2580	3040	3370	3640	3690	3720	3750	3870	3780	3790	3890	3930	3820	3910	3940	3940	3840	3920	3850	3960	
	200	530	810	1210	1720	2270	2770	3280	3380	3460	3520	3750	3570	3600	3790	3870	3650	3820	3880	3880	3690	3840	3710	3920	
	500	220	340	530	810	1200	1680	2420	2620	2790	2920	3410	3030	3100	3510	3690	3210	3570	3700	3720	3290	3610	3350	3820	
	1000	110	170	270	430	650	970	1610	1830	2030	2220	2920	2380	2480	3100	3410	2650	3210	3440	3470	2780	3290	2880	3650	
	5000	20	40	60	90	140	220	410	500	600	700	1240	820	900	1510	2050	1060	1710	2130	2200	1210	1880	1340	2690	

**CHART 2**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**225 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																						
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM
0	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050	16050
5	6250	8560	10830	12640	13870	14620	15220	15330	15410	15480	15760	15530	15770	15810	15900	15620	15630	15910	15910	15670	15860	15700	15960
10	3500	5200	7350	9650	11650	13120	14360	14600	14780	14920	15480	15030	15100	15570	15750	15210	15620	15760	15780	15300	15670	15370	15880
25	1490	2310	3520	5210	7260	9420	11980	12550	13010	13360	14650	13640	13800	14870	15310	14070	15010	15350	15380	14290	15120	14450	15620
50	750	1190	1850	2860	4260	6060	9020	9870	10600	11190	13360	11690	11980	13800	14610	12460	14070	14690	14750	12840	14290	13120	15210
100	380	600	950	1490	2290	3430	5810	6670	7500	8250	11190	8930	9350	11980	13350	10060	12460	13500	13610	10630	12840	11070	14450
200	190	300	480	760	1180	1820	3310	3940	4610	5280	8250	5940	6380	9350	11310	7170	10060	11560	11750	7860	10630	8400	13120
500	80	120	190	310	480	750	1430	1740	2100	2490	4450	2900	3200	5490	7600	3800	6260	7940	8220	4360	6940	4850	10260
1000	40	60	100	150	240	380	730	900	1090	1310	2480	1560	1740	3200	4840	2110	3800	5150	5410	2490	4360	2840	7490
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	270	540	330	370	730	1210	460	910	1330	1430	560	1030	660	2350
0	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990	14990
5	6820	9030	11010	12460	13380	13940	14370	14450	14510	14560	14770	14600	14620	14800	14870	14660	14820	14880	14880	14700	14840	14720	14920
10	3950	5760	7890	9990	11660	12800	13730	13900	14030	14130	14560	14220	14270	14620	14760	14350	14660	14770	14780	14420	14700	14970	14850
25	1700	2630	3970	5750	7790	9760	11680	12320	12670	12930	13930	13140	13270	14090	14420	13470	14200	14450	14480	13630	14280	13760	14860
50	870	1360	2120	3230	4740	6600	9360	10090	10700	11180	12930	11550	11810	13270	13890	12180	13470	13950	14000	12480	13630	12700	14350
100	440	690	1090	1700	2600	3860	6310	7150	7920	8610	11180	9200	9560	11810	12910	10160	12180	13020	13110	10640	12480	11000	13760
200	220	350	550	870	1350	2070	3710	4380	5060	5740	8610	6380	6800	9560	11240	7540	10160	11440	11590	8160	10640	8650	12700
500	90	140	220	350	550	860	1630	1980	2370	2800	4890	3240	3560	5920	7950	4180	6660	8260	8510	4750	7300	5240	10300
1000	40	70	110	180	280	440	840	1030	1250	1500	2800	1770	1970	3560	5260	2380	4180	5570	5820	2790	4750	3150	7810
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	620	380	430	840	1380	530	1030	1510	1620	640	1240	750	2630
0	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490	7490
5	6290	8770	10500	12220	13100	13770	14220	14300	14360	14440	14740	14440	14450	14740	14800	14540	14740	14800	14800	14600	14780	14660	14980
10	5070	5940	6540	6900	7120	7240	7340	7360	7370	7390	7440	7400	7400	7450	7460	7410	7450	7470	7470	7420	7460	7430	7480
25	2900	3980	5040	5900	6470	6830	7100	7150	7190	7230	7360	7250	7270	7380	7420	7290	7390	7430	7430	7310	7400	7330	7450
50	1620	2410	3410	4490	5430	6120	6700	6810	6900	6960	7230	7020	7050	7270	7350	7100	7290	7360	7360	7140	7310	7170	7410
100	850	1310	1980	2880	3900	4880	5940	6160	6330	6470	6960	6570	6630	7050	7210	6740	7100	7230	7240	6820	7140	6880	7330
200	430	680	1060	1620	2370	3300	4880	5050	5350	5590	6470	5790	5900	6630	6950	6090	6740	6970	7000	6240	6820	6350	7170
500	180	280	440	690	1060	1590	2690	3100	3480	3840	5220	4150	4350	5580	6230	4680	5810	6290	6350	4950	5980	5150	6740
1000	90	140	220	350	550	840	1530	1830	2130	2450	3840	2750	2960	4350	5270	3330	4680	5380	5470	3650	4950	3900	6120
5000	20	30	40	70	110	170	340	420	500	610	1150	720	800	1480	2240	980	1760	2390	2510	1150	2020	1310	3480
0	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990	5990
5	5420	5650	5780	5860	5900	5930	5960	5960	5970	5980	5970	5970	5970	5980	5990	5970	5980	5990	5990	5990	5980	5990	5990
10	4740	5230	5530	5710	5810	5870	5920	5930	5930	5940	5970	5940	5950	5970	5980	5950	5970	5980	5980	5960	5980	5960	5990
25	3160	4020	4720	5200	5490	5660	5800	5820	5840	5860	5930	5870	5880	5940	5960	5890	5940	5960	5960	5900	5950	5910	5970
50	1910	2710	3580	4370	4940	5300	5590	5650	5690	5720	5860	5750	5760	5880	5920	5790	5890	5930	5930	5810	5900	5830	5950
100	1040	1570	2280	3120	3940	4590	5190	5300	5390	5460	5720	5510	5540	5760	5850	5600	5790	5860	5860	5640	5810	5670	5910
200	540	840	1280	1890	2660	3460	4440	4660	4830	4960	5460	5070	5130	5540	5710	5240	5600	5720	5740	5320	5640	5380	5830
500	220	340	540	840	1270	1860	2920	3250	3550	3800	4740	4020	4150	5940	5920	4360	5070	5350	5380	4520	5170	4650	5590
1000	110	170	280	430	670	1020	1760	2080	2370	2660	3800	2920	3080	4150	4750	3370	4360	4810	4860	3600	4520	3780	5240
5000	20	40	60	90	140	220	420	510	620	740	1350	860	980	1700	2440	1150	1970	2560	2670	1340	2210	1500	3460



**CHART 3**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**300 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																						
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM
0	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400	21400
5	6650	9490	12310	15440	17520	18870	19930	20130	20260	20400	20900	20490	20550	20970	21130	20650	21020	21150	21160	20730	21060	20790	21240
10	3600	5460	7970	10970	13690	16270	18440	18860	19180	19430	20400	19630	19740	20550	20870	19940	20650	20900	20920	20090	20730	20210	21090
25	1500	2350	3630	5460	7900	10700	14510	15450	16210	16800	18960	17280	17560	19360	20100	18020	19594	20170	20230	18380	19790	18640	20640
50	760	1200	1860	2920	4420	6480	10230	11440	12500	13420	16800	14200	14660	17560	18910	15430	18020	19050	19150	16040	18380	16490	19930
100	380	600	950	1500	2330	3540	6220	7270	8310	9300	13420	10240	10840	14660	16840	11860	15430	17080	17270	12710	16040	13360	18640
200	190	300	480	760	1190	1840	3420	4120	4870	5650	9310	6450	7000	10840	13670	8010	11860	14050	14350	8910	12710	9650	16490
500	80	120	190	310	480	750	1450	1770	2140	2560	4710	3010	3340	5930	8540	4010	6880	9000	9370	4660	7740	5240	12200
1000	40	60	100	150	240	380	740	910	1100	1330	2560	1590	1780	3340	5180	2180	4010	5560	5870	2580	4660	2970	8770
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	270	550	330	370	740	1230	470	920	1350	1460	570	1100	660	2440
0	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980	19980
5	7380	10230	13120	15490	17110	18120	18890	19030	19140	19230	19810	19300	19340	19660	19780	19420	19700	19790	19800	19480	19730	19520	19870
10	4090	6120	8730	11620	14200	16120	17770	18080	18310	18490	19230	18640	18730	19340	19580	18870	19420	19600	19620	18990	19480	19080	19750
25	1720	2630	4110	6120	8630	11330	14640	15390	15980	16440	18140	16610	17030	18430	19000	17370	18610	19050	19090	17650	18750	17660	19410
50	870	1380	2150	3330	4980	7160	10840	11930	12860	13630	16440	14270	14650	17030	18080	15270	17370	18180	18260	15760	17650	16120	18660
100	440	700	1100	1720	2660	4010	6860	7920	8950	9890	13630	10750	11280	14650	16430	12180	15270	16620	16770	12910	15760	13460	17850
200	220	350	550	860	1370	2110	3670	4620	5420	6230	9890	7040	7560	11280	13790	8560	12180	14100	14350	8410	12910	10090	16120
500	90	140	220	350	560	870	1650	2020	2440	2900	5240	3390	3750	6490	9090	4460	7430	9520	9860	5130	8270	5730	12430
1000	40	70	110	180	280	440	850	1040	1270	1520	2900	1810	2020	3750	5710	2460	4460	6090	6410	2910	5130	3320	8960
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	630	380	430	850	1410	540	1050	1540	1660	650	1260	760	2740
0	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
5	7840	8680	9200	9500	9670	9780	9860	9870	9890	9900	9940	9910	9910	9950	9970	9920	9960	9970	9970	9930	9960	9930	9980
10	5680	7250	8270	8930	9320	9550	9720	9760	9780	9800	9900	9820	9830	9910	9940	9850	9920	9940	9950	9860	9930	9870	9960
25	3060	4400	5870	7200	8170	8810	9310	9400	9470	9520	9760	9570	9590	9790	9870	9640	9810	9870	9880	9680	9830	9700	9920
50	1670	2530	3700	5100	6470	7590	8610	8800	8950	9070	9520	9160	9210	9590	9740	8300	8640	9750	9760	9380	9680	9430	9850
100	860	1340	2060	3060	4320	5670	7320	7700	7990	8220	9070	8410	8510	9210	9500	8690	9300	9530	9550	8820	9380	8930	9700
200	440	690	1080	1660	2490	3580	5420	5960	6430	6810	8220	7140	7330	8510	9040	7630	8690	9090	9130	7880	8820	8060	9430
500	180	280	440	690	1070	1640	2880	3370	3860	4320	6250	4760	5040	6830	7850	5520	7190	7960	8050	5910	7470	6220	8690
1000	90	140	220	350	550	850	1580	1910	2250	2620	4320	2990	3240	5040	6360	3720	5520	6540	6680	4140	5910	4480	7880
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	510	610	1180	730	820	1540	2400	1010	1850	2570	2720	1190	2160	1370	3930
0	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990	7990
5	6940	7360	7610	7750	7830	7880	7930	7930	7940	7940	7970	7950	7950	7970	7980	7960	7970	7980	7980	7960	7980	7960	7990
10	5780	6610	7150	7480	7660	7770	7860	7870	7890	7900	7940	7910	7910	7950	7970	7920	7960	7970	7970	7930	7960	7930	7980
25	3490	4670	5760	6570	7090	7400	7650	7690	7720	7750	7870	7770	7790	7890	7930	7810	7900	7930	7930	7830	7910	7840	7960
50	2000	2930	4060	5200	6120	6760	7290	7380	7460	7510	7750	7560	7590	7790	7860	7630	7810	7870	7880	7670	7830	7700	7920
100	1060	1620	2430	3460	4570	5580	6580	6780	6940	7060	7510	7150	7210	7590	7740	7300	7630	7750	7760	7370	7670	7430	7840
200	540	850	1310	1990	2880	3920	5360	5720	6000	6230	7060	6410	6520	7210	7490	6690	7300	7520	7540	6830	7370	6930	7700
500	220	350	550	850	1310	1950	3230	3680	4090	4460	5670	4780	4980	6210	6830	5310	6420	6890	6940	5570	6590	5770	7300
1000	110	170	280	440	680	1040	1880	2220	2580	2930	4460	3270	3500	4980	5900	3890	5310	6010	6090	4230	5570	4480	6710
5000	20	40	60	90	140	220	420	520	630	750	1410	890	990	1800	2690	1200	2120	2850	2980	1410	2420	1600	4040

**CHART 4**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**500 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	3-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM	
0	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570	35570
5	7120	10690	15320	20490	25150	28640	31600	32160	32580	32900	34220	33160	33310	34420	34850	33560	34550	34880	34910	33770	34650	33930	33150	35150
10	3710	5750	8750	12820	17630	22420	27720	28840	29710	30380	32900	30910	31220	33310	34140	31720	33560	34210	34270	32120	33770	32420	31730	34730
25	1510	2390	3740	5790	8700	12540	19110	21060	22730	24120	29190	25270	25950	32240	32140	27060	30850	32320	32460	27930	31350	28570	23540	
50	760	1210	1900	2990	4620	6990	12020	13900	15720	17410	24120	18940	19890	25950	29160	21500	27060	29500	28760	22800	27930	23790	31710	
100	380	610	960	1520	2370	3670	6740	8060	9470	10903	17410	12330	13290	2290	24390	15030	21500	24950	25390	16540	22800	17750	28570	
200	190	300	480	760	1200	1870	3560	4330	5200	6150	10900	7160	7880	2290	18100	9280	15030	18890	19430	10600	16590	11720	23790	
500	80	120	190	310	480	760	1470	1810	2200	2640	5040	3140	3510	5530	9980	4280	7780	10650	11220	5060	8970	5780	15730	
1000	40	60	100	150	240	380	740	920	1120	1350	2640	1620	1820	2510	5650	2250	4280	6120	6520	2700	5060	3130	10010	
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	280	550	330	380	750	1260	470	930	1380	1490	570	1130	670	2550	
0	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230	33230
5	8060	11890	16580	21990	25330	28060	30270	30670	30980	31210	32210	31400	31510	32360	32680	31700	32450	32710	32730	31860	32530	31960	32810	
10	4240	6540	9820	14070	18740	23000	27270	28120	28780	29270	31210	29670	29960	31510	32150	30280	31700	32200	32240	30580	31860	30810	32590	
25	1740	2740	4280	6570	9740	13740	19970	21670	23080	24210	28340	25140	25680	3130	30610	26550	29600	30740	30850	27240	29900	27750	31800	
50	880	1390	2190	3430	5260	7880	13140	15000	16730	18270	24210	19630	20460	25680	28270	21830	26550	28530	28730	22930	27240	23750	30260	
100	440	700	1110	1750	2720	4190	7580	9000	10460	11920	18270	13330	14250	20460	24350	15900	21830	24800	25160	17290	22930	18370	27750	
200	220	350	560	880	1360	2150	4060	4920	5880	6900	11920	7970	8730	11250	16800	10170	15900	19450	19980	11480	17290	12590	23750	
500	90	140	220	350	560	870	1680	2070	2520	3020	5690	3570	3990	5290	10900	4830	8600	11570	12130	5670	9820	6440	18990	
1000	40	70	110	180	260	440	850	1050	1290	1550	3020	1860	2090	2990	6330	2570	4830	6830	7260	3070	5670	3550	10870	
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	630	380	430	860	1440	540	1070	1580	1710	660	1290	770	2900	
0	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610	16610
5	10630	12920	14360	15230	15740	16030	16260	16300	16330	16360	16490	16380	16390	16500	16540	16420	16520	16550	16550	16440	16530	16450	16570	
10	7100	9580	11880	13620	14730	15390	15890	15980	16050	16110	16360	16150	16180	16290	16480	16230	16420	16480	16490	16270	16440	16300	16530	
25	3290	4950	7110	9530	11720	13360	14750	15010	15210	15360	15980	15480	15550	16070	16270	15670	16130	16290	16300	15770	16180	15840	16410	
50	1710	2660	4050	5940	8190	10430	12920	13450	13860	14170	15360	14420	14570	15550	15990	14800	15670	15980	16000	14990	15770	15130	18220	
100	870	1370	2140	3290	4870	6870	9980	10830	11540	12110	14170	12570	12840	14570	15300	13280	14800	15370	15430	13620	14990	13870	15890	
200	440	690	1090	1710	2630	3940	6570	7500	8360	9140	12110	9810	10230	12640	14130	10920	13280	14260	14370	11470	13620	11880	15130	
500	180	280	440	700	1100	1690	3120	3730	4380	5050	8090	5720	6160	8250	11360	6980	10000	11620	11830	7680	10610	8240	13320	
1000	90	140	220	350	550	870	1640	2000	2400	2840	5050	3310	3650	4160	8410	4300	6980	8750	9030	4910	7680	5430	11070	
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	520	630	1220	750	840	1020	2610	1040	1980	2830	3020	1250	2340	1450	4640	
0	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290	13290
5	10310	11490	12210	12620	12860	13000	13110	13130	13150	13160	13230	13170	13180	13230	13260	13190	13240	13260	13260	13200	13250	13210	13270	
10	7610	9460	10910	11830	12370	12690	12920	12970	13000	13030	13160	13050	13070	13180	13220	13090	13190	13220	13230	13110	13200	13130	13250	
25	3810	5640	7600	9420	10780	11660	12350	12470	12570	12640	12970	12700	12740	13010	13120	12800	13040	13120	13130	12850	13070	12890	13190	
50	2100	3200	4710	6560	8420	9560	11380	11650	11860	12010	12640	12140	12210	12740	12940	12330	12800	12960	12970	12430	12850	12510	13090	
100	1080	1690	2590	3890	5530	7330	9600	10120	10520	10840	12010	11090	11240	1210	12610	11480	12330	12440	12670	11670	12430	11800	12890	
200	550	860	1350	2090	3150	4570	7010	7740	8380	8910	10840	9350	9600	10240	11970	10030	11480	12040	12090	10360	11670	10600	12510	
500	220	350	550	870	1350	2060	3660	4300	4940	5550	8130	6130	6500	8920	10320	7150	9910	10470	10600	7680	9800	8080	11480	
1000	110	180	280	440	690	1070	1990	2410	2850	3320	5550	3810	4140	5500	8290	4780	7150	8520	8720	5310	7680	5760	10080	
5000	20	40	60	90	140	220	420	520	640	770	1490	920	1030	1300	3050	1260	2340	3270	3460	1500	2730	1730	5080	

**CHART 5**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**750 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																						
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM
0	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190	43190
5	7310	11150	16420	22720	28850	33680	37820	38570	39130	39540	41360	39880	40070	41610	42190	40390	41760	42230	42270	40660	41690	40850	42580
10	3750	5870	9040	13550	19190	25240	32420	33970	35160	36060	39540	36770	37180	40070	41210	37630	40390	41300	41370	38350	40660	38730	41990
25	1520	2400	3790	5910	9000	13260	21100	23580	25760	27590	34430	29120	30030	35830	38430	31480	36640	38660	38840	32610	37280	33430	40300
50	760	1210	1920	3020	4700	7180	12710	14880	17040	19100	27590	20990	22190	30030	34340	24220	31480	34780	35130	25820	32610	27110	37240
100	380	610	960	1530	2390	3720	6930	8360	9900	11510	19100	13140	14250	22190	27950	16310	24220	28680	29250	18110	25820	19560	33430
200	190	300	480	770	1210	1890	3610	4410	5320	6330	11510	7410	8190	14250	19990	9740	16310	20900	21640	11210	18110	12490	27110
500	80	120	190	310	480	760	1470	1820	2220	2680	5160	3190	3570	6740	10510	4380	8100	11270	11910	5200	9410	5960	17140
1000	40	60	100	150	240	380	740	920	1120	1360	2680	1630	1840	3570	5820	2280	4380	6310	6750	2740	5200	3180	10570
5000	10	10	20	30	50	80	150	190	230	280	550	330	380	750	1260	470	930	1390	1500	570	1130	670	2580
0	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040	41040
5	8320	12550	18080	24250	29730	33690	36890	37450	37870	38190	39610	38440	38590	39800	40250	38830	39920	40290	40320	39040	40020	39190	40560
10	4310	6710	10240	15090	20820	26490	32560	33790	34720	35410	38190	35960	36280	38590	39480	36780	38830	39550	39610	37190	39040	37490	40100
25	1750	2770	4340	6750	10180	14750	22520	24790	26720	28290	34090	29570	30320	35180	37270	31510	35820	37450	37600	32440	36320	33110	38760
50	860	1390	2210	3470	5370	8160	14100	16330	18470	20440	28290	22200	23290	30320	33940	25100	31510	34290	34570	26550	32440	27820	36690
100	440	700	1110	1760	2750	4260	7860	9420	11060	12750	20440	14420	15530	23290	28480	17550	25100	29090	29580	19270	26550	20630	33110
200	220	350	560	880	1390	2170	4130	5030	6050	7160	12750	8330	9170	15530	21160	10800	17550	22000	22680	12320	19270	13610	27620
500	90	140	220	350	560	880	1700	2090	2540	3060	5860	3640	4070	7590	11830	4970	9040	12410	13060	5870	10420	6700	18280
1000	40	70	110	180	280	440	860	1060	1290	1570	3060	1870	2110	4070	6570	2610	4970	7110	7580	3130	5870	3620	11870
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	630	380	430	860	1450	540	1070	1600	1720	660	1300	770	2940
0	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520	20520
5	12290	15200	17310	18610	19340	19740	20040	20090	20130	20160	20300	20190	20270	20360	20420	20240	20380	20420	20430	20260	20390	20280	20460
10	7610	10650	13740	16230	17870	18830	19520	19640	19740	19810	20160	19860	19900	20210	20320	19960	20240	20330	20340	20010	20260	20050	20400
25	3360	5170	7820	10800	13530	15870	17890	18260	18540	18740	19630	18900	19000	19750	20030	19150	19820	20050	20070	19280	19890	19380	20220
50	1730	2710	4190	6280	8930	11810	15270	16020	16600	17040	18740	17390	17690	19000	19550	17910	19150	19600	19830	18180	19280	18350	19930
100	880	1380	2170	3370	5090	7370	11260	12400	13360	14140	17040	14780	15160	17590	18840	15780	17910	18730	18800	16220	18160	16560	19380
200	440	700	1100	1740	2690	4080	7050	8160	9230	10220	14140	11100	11640	15160	16970	12550	15780	17140	17280	13270	16220	13810	18350
500	180	280	440	700	1100	1720	3210	3870	4590	5340	8910	6110	6630	10380	13140	7600	11350	13480	13760	8450	12140	9140	15780
1000	90	140	220	350	560	870	1670	2040	2460	2930	5340	3430	3800	6630	9340	4520	7600	9770	10120	5210	8450	5810	12740
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	520	630	1240	750	850	1650	2690	1050	2030	2920	3130	1270	2410	1470	4910
0	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420	16420
5	12120	13860	14920	15520	15850	16030	16170	16200	16220	16230	16320	16250	16260	16340	16360	16270	16340	16370	16370	16280	16350	16290	16380
10	8450	10960	13010	14370	15160	15600	15920	15970	16020	16050	16230	16080	16100	16260	16310	16130	16270	16320	16320	16150	16280	16170	16350
25	4080	6040	8440	10880	12820	14120	15100	15280	15410	15500	15960	15580	15630	16020	16160	15710	16060	16170	16180	15770	16090	15820	16260
50	2140	3360	4980	7160	9530	11660	13700	14090	14390	14600	15500	14770	14870	15630	15920	15030	15710	15940	15960	15170	15770	15260	16110
100	1090	1710	2660	4060	5930	8140	11170	11900	12480	12930	14600	13280	13490	14870	15430	13810	15030	15470	15510	14060	15170	14250	15820
200	550	870	1370	2140	3260	4830	7760	8700	9540	10260	12930	10860	11210	13490	14520	11780	13810	14610	14680	12230	14060	12550	15260
500	220	350	550	880	1370	2110	3830	4550	5290	6020	9230	6730	7190	10290	12190	7990	10950	12400	12570	8670	11460	9190	12790
1000	110	180	280	440	690	1080	2040	2480	2960	3480	6020	4020	4390	7190	9460	5110	7990	9770	10020	5770	8670	6310	11840
5000	20	40	60	90	140	220	430	530	640	780	1510	930	1050	2000	3180	1290	2420	3430	3640	1540	2850	1770	5440

**CHART 6**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**1000 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM	
208 VOLTS	0	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190	57190
	5	7420	11470	17300	24910	33230	40670	47800	49150	50150	50900	54020	51490	51830	54450	54450	52380	54720	55530	55590	52840	54950	53170	56140
	10	3780	5940	9240	14100	20610	28340	38950	41510	43520	45070	50900	46300	47000	51830	53770	48120	52380	53930	54050	48990	52840	49630	55110
	25	1520	2410	3810	5980	9210	13840	23180	26450	29480	32150	42440	34460	35850	44800	49090	38130	46170	49480	49800	39920	47240	41220	52740
	50	760	1210	1920	3040	4740	7320	13300	15800	18380	20940	32150	23400	25010	35850	42480	27820	38130	43200	43780	30170	39920	31960	48020
	100	380	610	960	1530	2400	3750	7080	8600	10270	12080	20940	13950	15270	25010	32930	17770	27820	34010	34890	20040	30170	21920	41220
	200	190	300	480	770	1210	1890	3640	4470	5420	6480	12080	7640	8490	15270	22260	10220	17770	23460	24450	11900	20040	13390	31960
	500	80	120	190	310	480	760	1480	1830	2230	2700	5260	3230	3620	6940	11050	4470	8420	11920	12660	5340	9880	6160	18920
	1000	40	60	100	150	240	380	740	920	1130	1370	2700	1640	1850	3620	5970	2300	4470	6500	6970	2780	5340	3240	11200
	5000	10	10	20	30	50	80	150	190	230	280	550	330	380	750	1270	470	940	1400	1510	570	1140	680	2620
240 VOLTS	0	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380	54380
	5	8480	13020	19330	27130	34990	41420	47070	48100	48870	49430	51900	49880	50140	52220	53010	50570	52430	53070	53120	50530	52610	51190	53550
	10	4340	6810	10530	15880	22750	30360	39790	41890	43510	44730	49430	45690	46240	50140	51680	47120	50570	51800	51900	47820	50930	48330	52740
	25	1760	2780	4380	6850	10480	15560	25190	28340	31150	33540	42540	35550	36750	44430	47930	38670	45520	48240	48480	40170	46380	41260	50450
	50	880	1400	2210	3490	5440	8350	14920	17560	20210	22770	33540	25160	26680	36750	42450	29290	38670	43040	43500	31420	40170	33020	47000
	100	440	700	1110	1760	2760	4300	8060	9750	11580	13520	22770	15490	16850	26680	34060	19390	29290	35010	35770	21630	31420	23450	41260
	200	220	350	560	880	1390	2180	4180	5120	6180	7370	13520	8650	9580	16850	23930	11430	19390	25080	26020	13210	21630	14780	33020
	500	90	140	220	350	560	880	1700	2100	2570	3100	5990	3690	4190	7870	12350	5090	8470	13260	14040	6050	11040	6960	20450
	1000	40	70	110	180	280	440	860	1060	1300	1570	3100	1890	2130	4140	6770	2640	5090	7360	7880	3180	6050	3700	12440
	5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	640	380	430	860	1460	540	1080	1610	1740	660	1310	780	2990
480 VOLTS	0	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190	27190
	5	13730	17920	21380	23710	25060	25810	26350	26440	26510	26570	26880	26620	26650	26920	27020	26700	26940	27020	27030	26740	26960	26770	27080
	10	7990	11620	15770	19610	22410	24150	25440	25640	25820	25950	26570	26050	26110	26650	26840	26220	26700	26860	26870	26300	26740	26370	26980
	25	3430	5310	8020	11590	15530	19110	22590	23250	23740	24110	25640	24400	24570	25850	26340	24840	25980	26380	26410	25060	26090	25220	26670
	50	1740	2740	4270	6530	9570	13210	18290	19540	20520	21270	24110	21870	22210	24570	25520	22760	24840	25590	25650	23190	25060	23500	26170
	100	880	1390	2190	3430	5240	7780	12590	14170	15570	16770	21270	17780	18370	22210	23960	19340	22760	24120	24240	20090	23190	20630	25220
	200	440	700	1110	1750	2720	4170	7460	8780	10110	11390	16770	12580	13340	18370	21220	14640	19340	21520	21750	15710	20090	16510	23500
	500	180	280	450	710	1110	1730	3270	3980	4760	5600	9750	6470	7090	11670	15440	8270	13010	15960	16380	9340	14730	10230	19430
	1000	90	140	220	350	560	870	1680	2070	2500	3000	5600	3540	3930	7090	10370	4740	8270	10940	11410	5520	9340	6220	14950
	5000	20	30	40	70	110	180	340	430	520	630	1250	760	860	1680	2760	1060	2070	3010	3230	1280	2470	1500	5200
600 VOLTS	0	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750
	5	14260	17100	19010	20120	20740	21080	21330	21370	21410	21430	21590	21460	21470	21610	21660	21500	21620	21670	21670	21520	21630	21590	21700
	10	9200	12550	15690	18030	19470	20290	20880	20980	21060	21120	21430	21170	21200	21470	21570	21250	21500	21580	21590	21290	21520	21330	21840
	25	4190	6340	9210	12480	15450	17650	19440	19760	19990	20160	20960	20300	20390	21060	21310	20520	21130	21330	21350	20640	21180	20720	21460
	50	2160	3370	5160	7650	10650	13690	17030	17720	18240	18620	20160	18930	19100	20390	20880	19380	20520	20920	20950	19610	20640	19770	21220
	100	1090	1720	2700	4170	6240	8890	13070	14210	15140	15880	18620	16480	16820	19100	20080	17370	19380	20130	20200	17790	19610	18100	20720
	200	550	870	1380	2160	3330	5020	8480	9720	10870	11900	15880	12790	13330	16820	18520	14220	17370	18680	18800	14920	17790	15430	19770
	500	220	350	560	880	1380	2140	3980	4750	5600	6470	10490	7340	7920	12020	14820	8980	13000	15180	15420	9900	13780	10820	17360
	1000	110	180	280	440	690	1090	2070	2530	3040	3610	6470	4210	4640	7920	10890	5480	8980	11340	11700	6260	9900	6930	14360
	5000	20	40	60	90	140	220	430	530	650	780	1540	940	1060	2050	3310	1310	2500	3580	3820	1570	2980	1820	5900

# CHART 7

## SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER 1500 KVA

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	2-750 MCM	
208 VOLTS	0	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510	84510
	5	7520	11760	16130	27160	38420	50380	64280	67220	69460	71130	77710	72440	73190	78660	80790	74380	79240	80950	81090	75340	79720	76030	82240
	10	3800	6000	9410	14610	22020	31780	48020	52650	56510	59820	71130	82130	63580	73190	77250	65890	74380	77580	77850	67680	75340	68970	80080
	25	1530	2420	3630	6050	9400	14390	25440	29770	34060	38110	54800	41820	44150	59450	67740	48090	62200	68550	69200	51260	64330	53620	79150
	50	760	1210	1930	3050	4790	7440	13880	16730	19810	23010	38110	26250	28450	44150	55390	32500	48090	56780	57870	36030	51260	38840	65870
	100	380	610	970	1530	2410	3770	7220	8830	10650	12660	23010	14820	16380	28450	39790	19460	32500	41560	42990	22370	36030	24880	53620
	200	190	300	460	770	1210	1900	3670	4530	5510	6630	12660	7870	8800	16380	24980	10720	19460	26610	27980	12650	22370	14420	38840
	500	80	120	190	310	480	760	1490	1840	2250	2720	5350	3260	3680	7150	11630	4560	8750	12620	13490	5480	10390	6360	21070
	1000	40	60	100	150	240	380	740	920	1130	1370	2720	1650	1870	3680	6130	2330	4560	6700	7210	2810	5480	3290	11910
	5000	10	10	20	30	50	80	150	190	230	260	550	330	380	750	1280	470	940	1410	1520	580	1140	680	2650
240 VOLTS	0	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460	80460
	5	8630	13440	20530	30240	41650	52810	64500	66830	68570	69860	75110	70870	71450	75840	77520	72380	76290	77650	77750	73140	76670	73690	78670
	10	4370	6890	10780	16620	24730	34930	50420	54470	57740	60310	69860	62350	63530	71450	74700	65380	72380	74960	75170	66830	73140	67880	76950
	25	1760	2790	4410	6950	10760	16340	28210	32640	36870	40750	56140	44190	46300	60010	66950	49810	62260	67600	68130	52580	64010	54620	72160
	50	860	1400	2220	3520	5500	8530	15740	18850	22130	25490	40750	28790	31000	46300	56410	34950	49810	57580	58500	38320	52580	40940	65270
	100	440	700	1110	1770	2700	4340	8260	10080	12100	14320	25490	16660	18330	31000	42110	21570	34950	43730	45040	24570	38320	27100	54620
	200	220	350	560	890	1400	2190	4220	5200	6310	7580	14310	8970	10000	18330	27380	12120	21570	29020	30380	14210	24570	16100	40940
	500	90	140	220	350	560	880	1710	2120	2590	3130	6130	3750	4220	8140	13120	5210	9930	14200	15130	6250	11730	7240	23160
	1000	40	70	110	180	280	440	860	1060	1300	1580	3130	1900	2150	4220	6990	2670	5210	7630	8200	3230	6250	3770	13370
	5000	10	10	20	30	50	80	170	210	260	320	640	380	440	870	1470	540	1080	1620	1750	660	1320	780	3040
480 VOLTS	0	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230	40230
	5	15250	21320	27400	32230	35330	37120	38390	38610	38770	38900	39570	39000	39060	39640	39860	39170	39700	39870	39890	39260	39740	39330	40000
	10	8340	12580	18110	24230	29570	33360	36370	36890	37270	37560	38900	37790	37920	39060	39490	38140	39170	39520	39550	38330	39260	38470	39780
	25	3470	5430	8390	12590	17890	23580	30300	31740	32840	33660	36890	34310	34680	37360	38400	35270	37640	38480	38550	35740	37880	36080	39120
	50	1750	2770	4350	6760	10200	14770	22470	24690	26560	28070	33660	29300	30000	34680	36670	31130	35270	36630	36960	32010	35740	32640	38050
	100	880	1400	2210	3480	5380	8170	14110	16320	18440	20370	28070	22090	23150	30000	33480	24900	31130	33800	34060	26290	32010	27310	36080
	200	440	700	1110	1760	2750	4260	7870	9420	11070	12750	20370	14400	15500	23150	28210	17400	24900	28790	29250	19160	26290	20470	32640
	500	180	280	450	710	1110	1740	3340	4080	4930	5860	10680	6860	7590	13240	18600	9030	15150	19440	20130	10400	16830	11580	25220
	1000	90	140	220	350	560	880	1700	2090	2550	3060	5860	3640	4070	7590	11610	4960	9030	12380	13030	5860	10400	6690	18170
	5000	20	30	40	70	110	180	340	430	520	630	1260	760	860	1700	2830	1070	2110	3100	3330	1300	2530	1520	5520
600 VOLTS	0	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180	32180
	5	16920	21860	25830	28410	29880	30690	31260	31370	31440	31500	31840	31550	31580	31880	31990	31640	31910	32000	32010	31690	31930	31720	32070
	10	9940	14370	19340	23800	28950	28880	30270	30510	30680	30820	31500	30930	30990	31580	31800	31100	31640	31820	31830	31200	31690	31270	31950
	25	4280	6620	9980	14330	19040	23200	27110	27830	28370	28770	30470	29090	29270	30700	31240	29570	30840	31280	31310	29810	30960	29990	31610
	50	2180	3430	5330	8130	11870	16270	22220	23630	24730	25580	28770	26240	26620	29270	30330	27220	29570	30410	30480	27700	29810	28040	31050
	100	1100	1740	2740	4280	6530	9670	15500	17370	19010	20390	25580	21550	22220	26620	28590	23310	27220	28750	28890	24160	27700	24770	29990
	200	550	870	1360	2180	3400	5210	9260	10870	12480	14010	20390	15420	16320	22220	25490	17840	23310	25810	26070	19070	24160	19950	24040
	500	220	350	560	860	1390	2160	4080	4980	5920	6950	12030	8030	8780	14330	18790	10200	15910	19390	19870	11490	17220	12550	23390
	1000	110	180	280	440	700	1090	2100	2580	3120	3740	6950	4400	4890	8780	12760	5880	10200	13440	13990	6840	11490	7690	18270
	5000	20	40	60	90	140	220	430	530	650	790	1560	950	1070	2090	3440	1330	2570	3750	4020	1600	3070	1870	6440

**CHART 8**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**2000 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM	
0	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030	111030
5	7560	11890	18520	28260	41260	56550	77110	81940	85710	88570	99480	90820	92090	101130	104720	94120	102120	104990	105210	95710	102930	96860	107160	
10	3810	6020	9500	14850	22700	33590	53860	60310	65980	70730	88570	74680	77000	92090	98790	80710	94120	99350	99810	83580	95710	85640	103520	
25	1530	2430	3850	6080	9500	14650	26620	31590	36710	41770	63780	46580	49710	70840	83490	55160	75130	84830	85890	59650	78470	63060	93810	
50	770	1220	1930	3060	4810	7500	14170	17210	20550	24140	41770	27860	30460	49710	65130	35390	55160	67200	68850	39830	59650	43470	80880	
100	380	610	970	1530	2420	3790	7290	8950	10840	12960	24140	15270	16970	30460	44270	20400	35390	46600	46530	23720	39830	26660	63060	
200	190	300	460	770	1210	1900	3690	4560	5560	6710	12960	7990	8960	16970	26540	10990	20400	28470	30100	13060	23720	14990	43470	
500	80	120	190	310	490	760	1490	1840	2260	2740	5400	3280	3700	7250	11930	4600	8930	13000	13930	5550	10660	6470	22320	
1000	40	60	100	150	240	380	750	920	1130	1380	2740	1660	1870	3700	6210	2340	4600	6800	7330	2830	5550	3320	12290	
5000	10	10	20	30	50	80	150	190	230	280	550	330	380	750	1280	470	940	1410	1530	580	1150	680	2870	
0	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840	105840
5	8690	13630	21090	31820	45500	60510	78680	82630	85640	87890	96710	89660	90660	97990	100840	92260	98750	101050	101230	93530	99390	94450	102780	
10	4390	6930	10900	16970	25700	37430	57630	63580	68610	72700	87890	76030	77960	90660	96080	81010	92260	96530	96890	83380	93530	85080	99060	
25	1760	2800	4430	7000	10890	16720	29840	35090	40340	45370	66460	50030	52990	72560	83440	58020	76180	84520	85390	62100	78990	65130	91940	
50	860	1400	2220	3530	5530	8610	16140	19510	23160	27010	45370	30920	33610	52990	67340	38590	58020	69140	70570	42970	62100	46880	81000	
100	440	700	1110	1770	2780	4360	8360	10240	12370	14730	27010	17280	19140	33610	47570	22820	38590	49800	51620	26330	42970	29370	65140	
200	220	350	560	890	1400	2190	4250	5240	6380	7680	14730	9130	10220	19140	29430	12480	22820	31410	33090	14760	26330	18860	46480	
500	90	140	220	350	560	860	1710	2120	2600	3150	6200	3770	4250	8290	13540	5280	10170	14710	15730	6350	12090	7380	24780	
1000	40	70	110	180	280	440	860	1070	1310	1590	3150	1910	2150	4250	7100	2690	5280	7770	8370	3260	6350	3810	13690	
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	640	380	440	870	1480	550	1090	1630	1760	660	1320	780	3070	
0	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920	52920
5	16010	23250	31440	38890	44180	47430	49740	50130	50430	50640	51790	50820	50930	51920	52290	51110	52010	52310	52330	51270	52090	51390	52530	
10	8500	13050	19360	27100	34790	40950	46230	47160	47850	48360	50640	48760	48990	50930	51660	49380	51110	51710	51750	49700	51270	49930	52150	
25	3490	5490	8560	13080	19160	26380	36260	38620	40470	41880	47230	42990	43620	48050	49810	44620	48540	49950	50060	45400	48940	45970	51020	
50	1760	2780	4380	6860	10500	15570	25130	28210	30930	33230	41880	35150	36280	43620	46900	38090	44620	47180	47400	39490	45400	40500	49230	
100	880	1400	2210	3500	5450	8360	14920	17540	20170	22690	33230	25020	26490	36280	41720	29010	38090	42260	42690	31050	39490	32570	45970	
200	440	700	1110	1760	2770	4310	8070	9750	11580	13500	22690	15460	16800	26490	33670	19290	29010	34570	35280	21490	31050	23240	40500	
500	180	280	450	710	1120	1750	3370	4130	5010	5990	11190	7070	7860	14150	20650	9460	16470	21760	22680	11010	18570	12390	29620	
1000	90	140	220	350	560	880	1700	2100	2570	3100	5990	3650	4140	7860	12320	5080	9480	13220	13990	6050	11010	6940	20300	
5000	20	30	40	70	110	180	340	430	520	640	1260	760	860	1710	2870	1080	2130	3140	3390	1310	2570	1530	5690	
0	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340	42340
5	18420	25040	31130	35560	38230	39720	40760	40940	41070	41170	41760	41260	41310	41820	42010	41400	41870	42020	42030	41490	41910	41550	42140	
10	10290	15330	21580	27980	33110	36490	39020	39450	39770	40000	41170	40190	40310	41310	41690	40500	41400	41710	41740	40660	41490	40780	41840	
25	4320	6750	10350	15320	21280	27230	33600	34880	35830	36540	39420	37090	37410	39870	40730	37970	40050	40800	40850	38320	40250	38620	41350	
50	2190	3450	5410	8360	12490	17770	25970	28160	29940	31340	36540	32450	33090	37410	39180	34100	37910	39320	39440	34860	38320	35450	40400	
100	1100	1740	2750	4330	6670	10060	16950	19380	21630	23620	31340	25350	26380	33090	36290	28070	34100	36580	36810	29390	34880	30350	38620	
200	550	870	1390	2190	3430	5300	9660	11500	13400	15290	23620	17110	18300	26380	31340	20380	28070	31870	32300	22120	29390	23440	35450	
500	220	350	560	880	1390	2170	4140	5060	6090	7210	12920	8400	9260	15780	21610	10920	17860	22460	23170	12470	19630	13790	28290	
1000	110	180	280	440	700	1100	2120	2600	3170	3800	7210	4500	5030	9260	13910	6100	10920	14770	15480	7170	12470	8130	21010	
5000	20	40	60	90	140	220	430	530	650	790	1570	850	1070	2110	3510	1340	2610	3830	4120	1620	3140	1880	6740	



**CHART 9**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**150 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																						
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM
0	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300	21300
5	6210	8700	11460	14100	16250	17830	19280	19590	19830	20020	20650	20180	20280	20780	20980	20440	20860	21010	21020	20560	20930	20860	21140
10	3450	5150	7380	10020	12680	15020	17500	18050	18500	18860	20020	19160	19340	20280	20670	19840	20440	20720	20750	19870	20560	20050	20980
25	1470	2280	3420	5170	7330	9830	13450	14430	15270	15980	18320	18580	16950	18900	19790	17550	19260	19900	19980	18050	19540	18430	20560
50	750	1180	1840	2820	4220	6080	9490	10630	11680	12620	15980	13460	13990	16950	18470	14890	17550	18660	18810	15640	18050	18240	19780
100	380	560	940	1470	2260	3410	5880	6850	7830	8780	12620	9700	10310	13990	16260	11400	14890	16570	16820	12340	16640	13120	18430
200	190	300	480	750	1170	1810	3310	3960	4670	5410	6780	6180	6710	10310	13090	7730	11400	13520	13870	8660	12340	9480	16240
500	80	120	190	310	480	750	1420	1740	2100	2500	4540	2940	3260	5710	8200	3920	6650	8660	9050	4570	7540	6170	11970
1000	40	60	100	150	240	380	730	900	1090	1310	2500	1560	1750	3260	5030	2150	3920	5400	5720	2550	4570	2940	6320
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	270	540	330	370	730	1220	460	910	1340	1440	560	1100	660	2420
0	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130	19130
5	6760	9190	11680	13870	15520	16680	17720	17930	18100	18230	18670	18350	18410	18760	18910	18520	18820	18920	18930	18610	18870	18680	19010
10	3870	5670	7920	10400	12700	14570	16420	16830	17150	17400	18230	17620	17740	18410	18690	17950	18520	18720	18750	18120	18610	18240	18900
25	1680	2590	3900	5690	7860	10200	13280	14060	14710	15250	17010	15700	15970	17420	18060	16420	17680	18140	18200	16780	17880	17060	18570
50	860	1350	2090	3180	4680	6610	9860	10860	11760	12540	15250	13220	13640	15970	17100	14360	16420	17240	17350	14940	16780	15400	18040
100	440	690	1080	1680	2560	3810	6380	7330	8270	9150	12540	9970	10510	13640	15440	11440	14360	15670	15860	12240	14940	12880	17060
200	220	350	550	860	1340	2050	3690	4390	5120	5870	9150	6630	7150	10510	12890	8110	11440	13240	13520	8970	12240	9710	15400
500	90	140	220	350	550	860	1620	1970	2370	2810	4970	3280	3620	6150	8560	4310	7070	8980	9340	4970	7910	5580	11910
1000	40	70	110	180	280	430	840	1030	1250	1500	2810	1770	1980	3620	5460	2410	4310	5830	6140	2850	4970	3270	8640
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	620	380	430	840	1390	530	1040	1520	1640	650	1250	760	2700
0	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560	9560
5	6990	7850	8440	8840	9090	9250	9380	9410	9430	9450	9510	9460	9470	9520	9540	9490	9530	9540	9540	9500	9530	9510	9550
10	5240	6450	7430	8150	8620	8940	9200	9260	9300	9340	9450	9370	9380	9470	9510	9410	9490	9510	9520	9430	9500	9450	9540
25	2860	3990	5240	6420	7370	8060	8690	8820	8930	9010	9280	9080	9120	9340	9430	9190	9370	9440	9440	9240	9400	9280	9490
50	1590	2370	3390	4590	5790	6830	7910	8150	8350	8500	9010	8630	8710	9120	9290	8840	9190	9310	9330	8940	9240	9020	9420
100	840	1290	1950	2840	3930	5100	6640	7030	7350	7620	8500	7850	7980	8710	9030	8210	8840	9070	9100	8390	8900	8530	9280
200	430	670	1040	1590	2340	3300	4930	5430	5880	6270	7620	6610	6820	7980	8550	7180	8210	8620	8670	7470	8390	7700	9020
500	180	280	440	680	1040	1570	2700	3140	3590	4020	5750	4430	4700	6350	7360	5190	6750	7490	7600	5610	7080	5950	8310
1000	90	140	220	350	540	830	1520	1820	2150	2490	4020	2830	3080	4700	5950	3540	5190	6140	6290	3960	5610	4320	7340
5000	20	30	40	70	110	170	340	410	500	610	1150	720	810	1500	2310	990	1800	2480	2620	1180	2100	1350	3800
0	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650
5	6270	6750	7070	7280	7410	7490	7560	7570	7580	7590	7620	7600	7600	7630	7640	7610	7630	7640	7640	7620	7630	7620	7640
10	5130	5930	6520	6910	7160	7330	7470	7490	7520	7530	7590	7550	7560	7600	7620	7570	7610	7620	7630	7580	7620	7590	7640
25	3160	4170	5130	5910	6480	6860	7200	7260	7320	7360	7510	7400	7420	7530	7580	7460	7550	7590	7590	7480	7570	7510	7610
50	1670	2690	3650	4640	5490	6150	6770	6900	7010	7090	7360	7160	7200	7420	7510	7270	7460	7520	7530	7320	7480	7370	7580
100	820	1540	2250	3140	4100	5000	6020	6250	6440	6590	7090	6720	6800	7200	7370	6920	7270	7390	7410	7020	7320	7100	7510
200	430	820	1260	1870	2650	3550	4850	5200	5500	5760	6590	5970	6100	6800	7110	6310	6920	7150	7180	6490	7020	6620	7370
500	220	340	540	830	1250	1840	2980	3380	3760	4110	5400	4430	4630	5800	6430	4980	6050	6510	6570	5280	6250	5510	6980
1000	110	170	270	430	660	1010	1780	2090	2420	2750	4110	3070	3280	4630	5520	3670	4980	5650	5750	4020	5280	4310	6410
5000	20	40	60	90	140	220	410	510	620	740	1360	870	970	1730	2550	1170	2040	2710	2850	1380	2340	1570	3880

**CHART 10**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**225 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM	
208 VOLTS	0	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760	31760
	5	6670	9720	13500	17600	21370	24410	27410	28060	28570	28990	30330	29330	29540	30810	31060	29880	30790	31110	31150	30140	30930	30350	31400
	10	3560	5450	8080	11490	15360	19220	23630	24940	25850	26590	28990	27210	27580	29540	30380	28190	29880	30480	30560	28880	30140	29060	31040
	25	1490	2330	3610	5480	8040	11280	16700	18360	19830	21110	25510	22220	22910	26880	28510	24070	27410	28730	28910	25020	28000	25770	30020
	50	760	1190	1870	2910	4420	6560	10900	12500	14060	15530	21110	16890	17770	22910	25830	19310	24070	26210	26510	20620	25020	21680	28460
	100	380	600	950	1500	2320	3540	6350	7530	8770	10050	15530	11320	12180	17770	21690	13790	19310	22250	22720	15230	20620	16460	25770
	200	190	300	480	760	1190	1840	3440	4170	4970	5850	10050	6770	7440	12180	16350	8240	13790	17050	17620	9990	15230	11100	21680
	500	80	120	190	310	480	750	1450	1780	2160	2580	4830	3060	3420	6220	9340	4160	7390	9960	10490	4910	8520	5620	14690
	1000	40	60	100	150	240	380	740	910	1110	1340	2580	1600	1800	3420	5430	2220	4160	5870	6260	2660	4910	3080	9550
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	280	550	330	370	740	1240	470	920	1370	1480	570	1120	670	2510	
240 VOLTS	0	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530	28530
	5	7400	10550	14200	17850	20940	23280	25460	25920	26290	26580	27530	26820	26960	27730	28040	27200	27850	28070	28100	27390	27950	27530	28220
	10	4050	6100	8870	12280	15880	19180	22800	23620	24290	24830	26580	25280	25540	26960	27560	25980	27200	27630	27680	26330	27390	26610	28020
	25	1710	2660	4080	6130	8820	12050	16920	18370	19570	20590	24020	21460	21990	24880	26220	22880	25410	26380	26500	23600	25840	24160	27300
	50	870	1370	2140	3300	4980	7260	11630	13140	14560	15860	20590	17030	17720	21990	24230	19040	22880	24510	24790	20100	23600	20950	26120
	100	440	690	1090	1710	2640	4000	7020	8240	9490	10730	15860	11940	12740	17720	21000	14210	19040	21450	21810	15990	20100	16550	24160
	200	220	350	550	870	1360	2100	3690	4680	5540	6460	10730	7420	8090	12740	16520	9390	14210	17110	17600	10600	15490	11680	20950
	500	90	140	220	350	550	870	1650	2030	2450	2930	5380	3450	3840	6830	9990	4640	8020	10580	11100	5430	9150	6170	14980
	1000	40	70	110	180	280	440	840	1040	1270	1530	2930	1820	2040	3840	5990	2510	4640	6450	6850	3000	5430	3480	10150
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	630	380	430	850	1320	540	1060	1560	1680	650	1280	770	2490	
480 VOLTS	0	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260	14260
	5	9000	10620	11830	12670	13210	13560	13860	13920	13970	14010	14140	14040	14060	14160	14200	14090	14180	14210	14210	14120	14190	14140	14230
	10	6180	8070	9820	11220	12220	12890	13470	13590	13690	13780	14010	13830	13860	14060	14140	13920	14090	14150	14160	13970	14120	14010	14200
	25	3070	4470	6190	8040	9730	11070	12380	12660	12880	13060	13640	13210	13300	13770	13960	13440	13840	13980	14000	13560	13900	13650	14100
	50	1650	2510	3720	5280	7040	8770	10810	11290	11690	12010	13080	12280	12440	13300	13680	12710	13540	13710	13740	12920	13560	13080	13950
	100	850	1330	2040	3060	4410	6030	8490	9180	9780	10290	12010	10730	11000	12440	13110	11440	12710	13190	13250	11800	12920	12080	13850
	200	430	680	1070	1650	2490	3630	5810	6570	7280	7930	10290	8510	8880	11000	12120	9520	11440	12260	12370	10050	11800	10480	13080
	500	180	280	440	690	1070	1630	2920	3460	4030	4610	7090	5180	5570	8090	9840	6300	8780	10090	10290	6940	9360	7490	11640
	1000	90	140	220	350	550	850	1590	1920	2290	2690	4610	3110	3420	5570	7450	4010	6300	7760	8020	4570	6940	5080	9820
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	510	620	1190	740	830	1570	2500	1020	1910	2700	2870	1220	2260	1420	4370	
600 VOLTS	0	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410	11410
	5	8470	9460	10140	10590	10670	11050	11200	11240	11260	11280	11350	11300	11310	11360	11380	11320	11370	11380	11380	11390	11370	11350	11390
	10	6410	7830	8970	9800	10340	10700	11000	11060	11110	11150	11280	11180	11200	11310	11350	11240	11320	11350	11360	11260	11340	11280	11380
	25	3540	4910	6410	7800	8900	9700	10420	10570	10690	10780	11090	10860	10910	11150	11250	10980	11190	11260	11270	11040	11220	11090	11330
	50	1980	2940	4190	5630	7050	8270	9530	9800	10020	10200	10780	10350	10440	10910	11100	10580	10980	11120	11140	10700	11040	10790	11250
	100	1050	1610	2420	3520	4840	6240	8050	8500	8880	9190	10200	9450	9600	10440	10800	9860	10580	10850	10880	10070	10700	10230	11090
	200	540	840	1300	1980	2900	4080	6030	6620	7150	7610	9190	8010	8250	9600	10250	8670	9860	10330	10390	9000	10070	9270	10790
	500	220	350	540	850	1300	1950	3340	3880	4420	4940	6990	5430	5750	7700	8880	6330	8170	9030	9160	6820	8550	7230	9970
	1000	110	170	280	430	680	1040	1690	2260	2860	3080	4940	3500	3790	5750	7230	4350	6330	7450	7630	4850	6820	5290	8850
5000	20	40	60	90	140	220	420	520	630	760	1430	900	1010	1860	2860	1230	2230	3060	3240	1460	2600	1880	4860	



**CHART 11**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**300 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																							
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM	
0	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090	42090
5	6910	10290	14730	19970	25240	29640	34690	35770	36640	37340	39610	37930	38270	40160	40870	38840	40410	40960	41030	39300	40650	39650	41460	41460
10	3640	5610	8460	12350	17090	22230	29030	30760	32210	33410	37340	34420	35030	36270	39710	36040	38840	39870	40010	38850	39300	37480	40840	40840
25	1500	2360	3670	5650	8430	12150	18930	21170	23240	25090	31710	26760	27780	33590	36580	29560	34780	36930	37230	31020	35730	32190	39090	39090
50	760	1200	1890	2950	4530	6810	11740	13670	15610	17510	25090	19320	20520	27780	32250	22680	29550	32850	33350	24520	31020	26050	36880	36880
100	380	600	960	1510	2350	3610	6610	7920	9320	10810	17510	12320	13380	20520	26010	15400	22680	26850	27530	17250	24520	18860	32190	32190
200	190	300	480	760	1190	1860	3510	4280	5140	6090	10810	7110	7860	13380	18660	9360	15400	19590	20370	10820	17250	12150	26050	26050
500	80	120	190	310	480	760	1460	1800	2180	2630	4990	3130	3500	6510	10030	4290	7820	10770	11400	5100	9120	5870	16570	16570
1000	40	60	100	150	240	380	740	910	1110	1350	2630	1620	1820	3500	5650	2250	4290	6140	6560	2710	5100	3160	10310	10310
5000	10	10	20	30	50	80	150	180	230	280	550	330	360	740	1260	470	930	1350	1490	570	1130	670	2560	2560
0	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820	37820
5	7750	11330	15810	20720	25260	28940	32560	33340	33960	34460	36080	34870	35120	36420	36960	35520	36640	37020	37070	35840	36800	36090	37370	37370
10	4440	6320	9400	13430	18040	22820	29560	30660	30660	31550	34460	32290	32730	35120	36140	33470	35520	36260	36350	34060	35840	34510	36930	36930
25	1720	2760	4180	6360	9360	13190	19640	21620	23380	24920	30240	26260	27090	31650	33860	28480	32530	34130	34340	29610	33230	30510	35660	35660
50	870	1380	2160	3360	5130	7620	12730	14630	16480	18230	24920	19850	20900	27090	30610	22740	28480	31060	31430	24300	29610	25570	33780	33780
100	440	700	1100	1730	2600	4100	7380	8770	10220	11720	18230	13220	14240	20900	25600	16150	22740	26280	26830	17860	24300	19310	30510	30510
200	220	350	550	880	1370	2130	3990	4830	5770	6790	11720	7880	8650	14240	19200	10190	16150	20030	20710	11650	17860	12960	25570	25570
500	90	140	220	350	560	870	1670	2050	2490	2990	5610	3540	3960	7230	10890	4820	8590	11620	12250	5700	9920	6520	17200	17200
1000	40	70	110	180	280	440	850	1050	1280	1550	2990	1850	2080	3960	6300	2560	4820	6820	7270	3070	5700	3570	11130	11130
5000	10	10	20	30	50	80	170	210	260	320	630	380	430	860	1440	540	1070	1580	1710	660	1290	770	2910	2910
0	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910	18910
5	10450	12820	14750	16150	17080	17690	18200	18310	18400	18470	18690	18520	18550	18730	18800	18610	18760	18810	18810	18650	18760	18690	18850	18850
10	6750	9170	11630	13780	15400	16530	17540	17740	17910	18040	18470	18150	18210	18550	18690	18320	18610	18710	18720	18400	18650	18470	18800	18800
25	3180	4740	6770	9150	11520	13570	15690	16160	16540	16840	17830	17100	17250	18040	18380	17490	18180	18410	18440	17690	18280	17840	18630	18630
50	1680	2590	3900	5680	7840	10170	13190	13960	14600	15120	18840	15560	15820	17250	17870	16280	17490	17940	18000	16610	17690	16890	18360	18360
100	850	1350	2090	3180	4680	6800	9820	10810	11690	12460	15120	13130	13540	15820	16930	14240	16260	17080	17170	14810	16610	15260	17840	17840
200	440	690	1060	1680	2560	3810	6370	7320	8240	9110	12460	9930	10450	13540	15300	11370	14240	15530	15710	12150	14810	12780	16890	16890
500	180	280	440	700	1080	1670	3040	3640	4290	4960	8010	5660	6140	9360	11820	7050	10320	12190	12500	7880	11150	8600	19550	19550
1000	90	140	220	350	550	860	1620	1970	2370	2800	4960	3270	3610	6140	8520	4300	7050	8940	9290	4960	7880	5560	11830	11830
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	510	620	1210	750	840	1610	2600	1040	1980	2820	3020	1250	2350	1450	4730	4730
0	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130	15130
5	10210	11790	12920	13690	14180	14500	14770	14820	14870	14900	15010	14930	14940	15040	15070	14970	15050	15080	15080	15000	15060	15010	15100	15100
10	7270	9270	11010	12350	13280	13890	14410	14520	14610	14680	14900	14730	14770	14940	15020	14820	14970	15020	15030	14870	15000	14900	15070	15070
25	3740	5370	7280	9230	10920	12200	13410	13670	13870	14040	14570	14170	14250	14680	14850	14380	14750	14870	14890	14490	14800	14570	14980	14980
50	2040	3080	4500	6270	8170	9950	11940	12400	12770	13060	14040	13310	13460	14250	14590	13700	14380	14620	14650	13900	14490	14050	14840	14840
100	1060	1650	2510	3730	5290	7080	9650	10350	10930	11420	13060	11840	12090	13460	14080	12510	13700	14150	14210	12850	13900	13120	14570	14570
200	540	850	1330	2040	3040	4390	6840	7640	8390	9050	11420	9640	10010	12090	13160	10640	12510	13290	13390	11160	12850	11580	14050	14050
500	220	350	550	860	1330	2010	3550	4180	4830	5480	8180	6110	6530	9210	10960	7310	9900	11210	11400	7880	10470	8580	12700	12700
1000	110	170	260	440	660	1050	1950	2360	2800	3270	5480	3760	4110	6530	8540	4780	7310	8860	9120	5410	7990	5970	10980	10980
5000	20	40	60	90	140	220	420	520	640	770	1470	910	1030	1930	3030	1260	2340	3270	3480	1510	2750	1740	5180	5180

**CHART 12**  
**SYMMETRICAL SHORT CIRCUIT CURRENT**  
**AT VARIOUS DISTANCES FROM A LIQUID FILLED TRANSFORMER**  
**500 KVA**

DIST. FT.	WIRE SIZE (COPPER)																						
	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#1	0	00	000	2-000	0000	250 MCM	2-250 MCM	3-300 MCM	350 MCM	2-350 MCM	3-350 MCM	3-400 MCM	500 MCM	2-500 MCM	750 MCM	4-750 MCM
0	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050	69050
5	7200	11020	16430	23580	31880	40360	50750	53270	55350	57050	62590	58460	59310	63850	65820	60720	64630	66050	66230	61850	65250	62720	67350
10	3720	5800	8930	13490	19590	27110	39030	42520	45560	48170	57050	50420	51800	59310	62860	54110	60720	63280	63610	55980	61850	57450	65730
25	1510	2390	3750	5850	8920	13300	22370	25780	29120	32310	44610	35290	37220	48670	55290	40620	51290	56160	56850	43520	53440	45880	61320
50	760	1210	1910	3000	4660	7130	12880	15330	17920	20600	32310	23290	25130	37220	45910	28580	40620	47190	48220	31690	43520	34350	55140
100	380	610	960	1520	2380	3690	6940	8420	10060	11860	20600	13780	15160	25130	34120	17880	28580	35640	36900	20500	31690	22850	45880
200	190	300	480	760	1200	1880	3600	4420	5350	6400	11860	7560	8430	15160	22430	10210	17880	23840	25050	12010	20500	13690	34350
500	80	120	190	310	480	760	1470	1820	2220	2680	5200	3210	3610	6890	11010	4460	8400	11920	12710	5350	9940	6210	19570
1000	40	60	100	150	240	380	740	920	1120	1360	2680	1640	1850	3610	5950	2300	4460	6490	6980	2780	5350	3250	11400
5000	10	10	20	30	50	80	150	190	230	280	550	330	380	750	1270	470	840	1500	1510	570	1140	680	2630
0	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080	62080
5	6180	12370	18130	25360	33180	40540	48790	50690	52220	53460	57520	54490	55110	58410	59810	56120	58960	59970	60090	56930	59400	57560	60880
10	4250	6600	10080	15010	21350	28690	39280	42160	44590	46630	53460	48360	49410	55110	57690	51150	56120	57990	58220	52560	56930	53650	59730
25	1740	2740	4290	6650	10060	14790	24010	27260	30350	33200	43760	35800	37440	46950	52080	40280	48920	52720	53230	42660	50610	44570	58530
50	860	1390	2190	3440	5310	8080	14300	16850	19480	22120	33200	24710	26450	37440	44700	28620	40280	45700	46520	32410	42660	34750	51890
100	440	700	1110	1750	2730	4220	7850	9470	11240	13150	22120	15140	16550	26450	34680	19290	29620	35990	37070	21860	32410	24120	44570
200	220	350	560	860	1360	2160	4110	5030	6070	7230	13150	8500	9430	16550	23810	11340	19290	25150	26280	13220	21860	14960	34750
500	90	140	220	350	560	870	1690	2090	2540	3070	5900	3660	4110	7760	12200	5060	9390	13150	13980	6090	11040	6990	20910
1000	40	70	110	180	280	440	850	1060	1290	1570	3070	1880	2120	4110	6710	2630	5060	7310	7840	3170	6040	3700	12570
5000	10	10	20	40	60	90	170	210	260	320	630	380	430	860	1460	540	1080	1600	1730	660	1310	780	3000
0	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040	31040
5	12760	18870	26780	39880	52860	7830	29190	29470	29690	29870	30450	30010	30100	30560	30750	30240	30640	30770	30790	30350	30690	30440	30890
10	7530	10830	14750	18780	22260	24940	27470	28000	28420	28760	29870	29040	29210	30100	30460	29480	30240	30500	30540	29700	30350	29870	30740
25	3320	5080	7570	10840	14620	18430	23040	24150	25060	25800	28230	26420	26790	28780	29630	27400	29110	29230	29810	27890	29380	28270	30300
50	1710	2670	4120	6220	9010	12450	17820	19380	20730	21880	25800	22870	23470	26790	28340	24480	27400	28520	28670	25300	27890	25950	29590
100	870	1370	2150	3330	5030	7390	12000	13630	15180	16600	21880	17900	18720	23470	26040	20140	24480	26360	26610	21330	25300	22280	28270
200	440	690	1090	1720	2660	4040	7150	8420	9740	11060	16600	12360	13220	18720	22350	14810	20180	22850	23260	16210	21330	17380	25950
500	170	280	440	700	1100	1700	3200	3880	4640	5480	9460	6340	6970	11510	15570	8210	13070	16250	16820	9400	14460	10460	20810
1000	90	140	220	350	550	870	1660	2040	2470	2950	5460	3480	3880	6970	10280	4700	8210	10920	11460	5520	9400	6280	15650
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	520	630	1240	760	850	1660	2740	1060	2060	2990	3210	1280	2460	1500	5240
0	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830	24830
5	13400	16570	19170	21070	22340	23170	23880	24020	24130	24230	24530	24300	24350	24590	24680	24420	24620	24690	24700	24480	24850	24520	24750
10	6570	11710	14970	17860	20050	21590	22960	23240	23460	23640	24230	23790	23880	24350	24530	24020	24420	24560	24570	24120	24480	24220	24680
25	4010	5960	8600	11700	14830	17570	20450	21090	21600	22010	23380	22350	22560	23650	24100	22890	23820	24150	24190	23160	23970	23360	24450
50	2110	3250	4910	7190	9990	13040	17070	18110	18960	19670	22010	20270	20620	22560	23410	21210	22890	23510	23580	21890	23160	22060	24080
100	1060	1630	2520	4000	5810	8380	12560	13900	15070	16100	19670	16990	17540	20620	22130	18460	21210	22310	22450	19240	21890	19840	23360
200	550	860	1350	2110	3220	4800	8000	9510	10520	11660	16100	12730	13430	17540	19920	14850	18480	20220	20470	15680	19240	16520	22060
500	220	350	550	870	1360	2090	3830	4590	5420	6280	10230	7170	7790	12000	15250	8970	13260	15740	16140	10060	14350	10990	18890
1000	110	170	260	440	690	1070	2030	2580	2980	3530	6280	4120	4560	7790	10890	5430	8970	11440	11900	6280	10060	7050	15240
5000	20	30	40	70	110	180	340	420	520	640	1240	760	850	1660	2740	1060	2060	2990	3210	1280	2460	1500	5240



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES I**

**EJEMPLO SIMPLIFICADO DE CORTO CIRCUITO EN UN SISTEMA INDUSTRIAL  
EN LA ZONA CENTRO DEL PAIS**

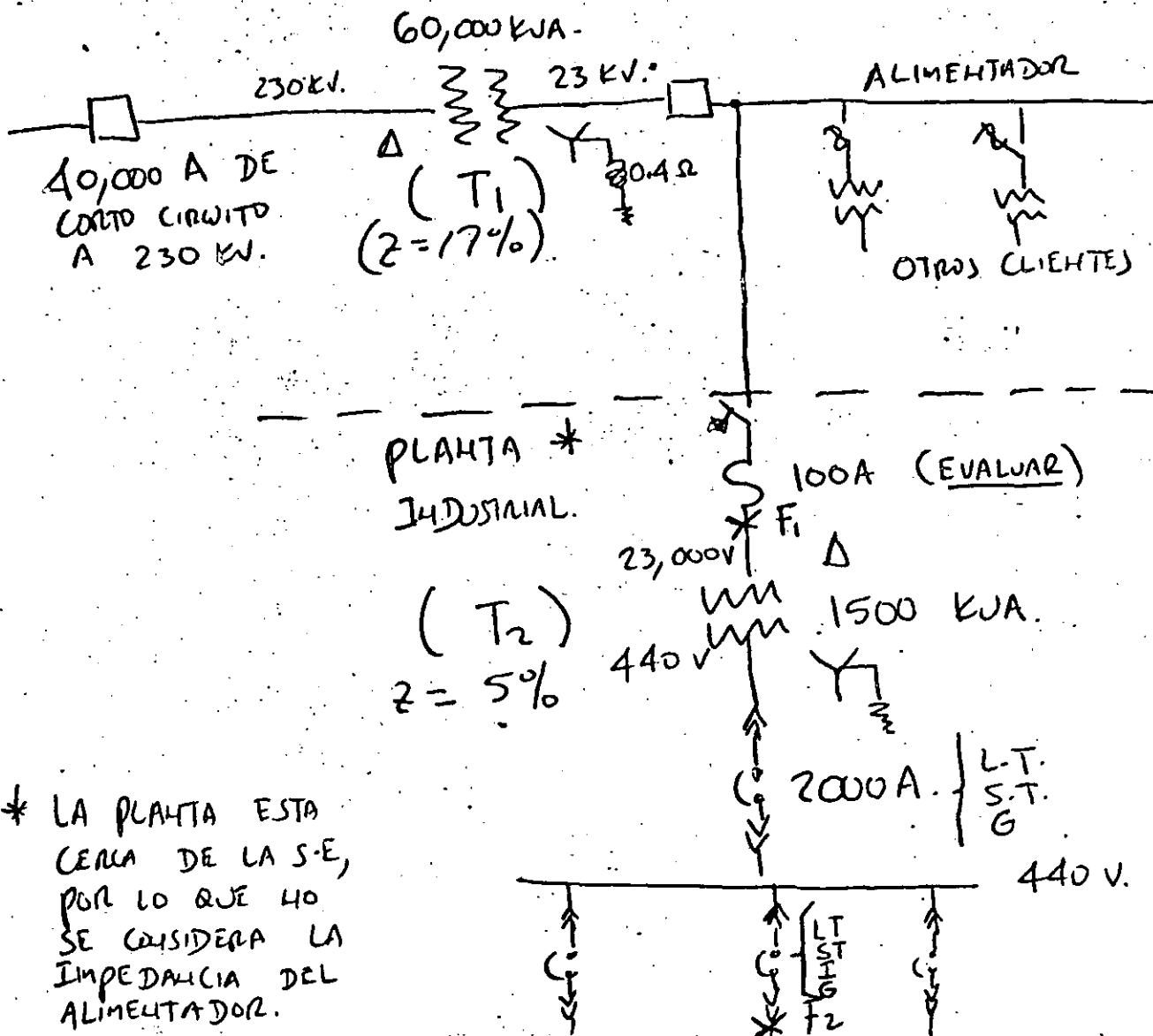
**ING. ANDRES D. CHAVEZ SAÑUDO**

**MAYO, 1985**

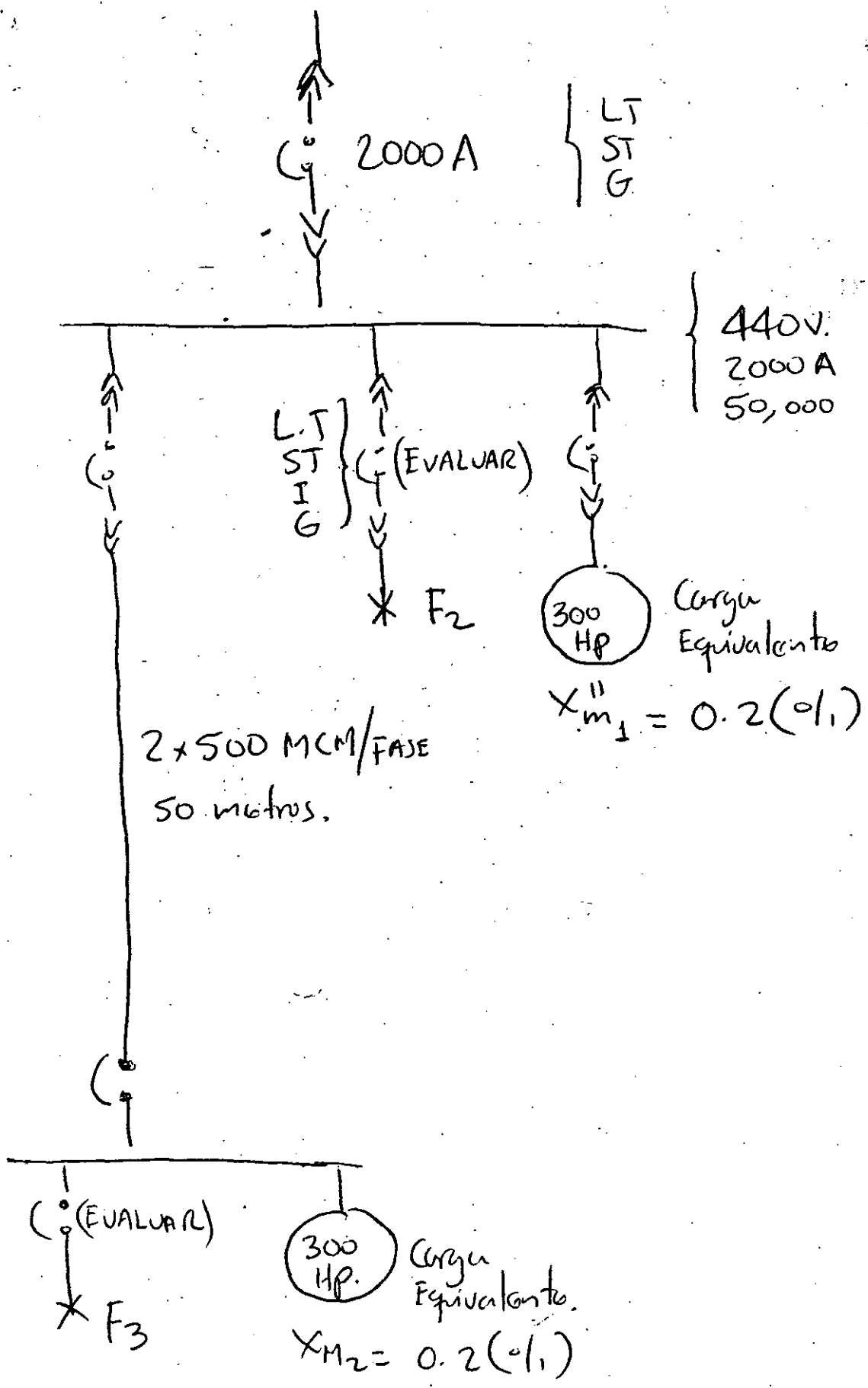
JUNIO de 1985

# EJEMPLO SIMPLIFICADO DE CORTO CIRUITO EN UN SISTEMA INDUSTRIAL EN LA ZONA CENTRO DEL PAIS

## Diagrama Unifilar



\* LA PLANTA ESTA CERCA DE LA S-E, POR LO QUE NO SE CONSIDERA LA IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR.



OBJETIVOS:

- Determinar Capacidades Interruptiva de los fusibles de 23 kv tipo limitador mediante F1.
- Determinar capacidad interruptiva necesaria en el interruptor electromagnético derivado de 440V mediante F2. (Tablero principal de P.T.)
- Determinar capacidad interruptiva del interruptor termomagnético derivado en el C.C.M. mediante F3.

SOLUCION

BASES

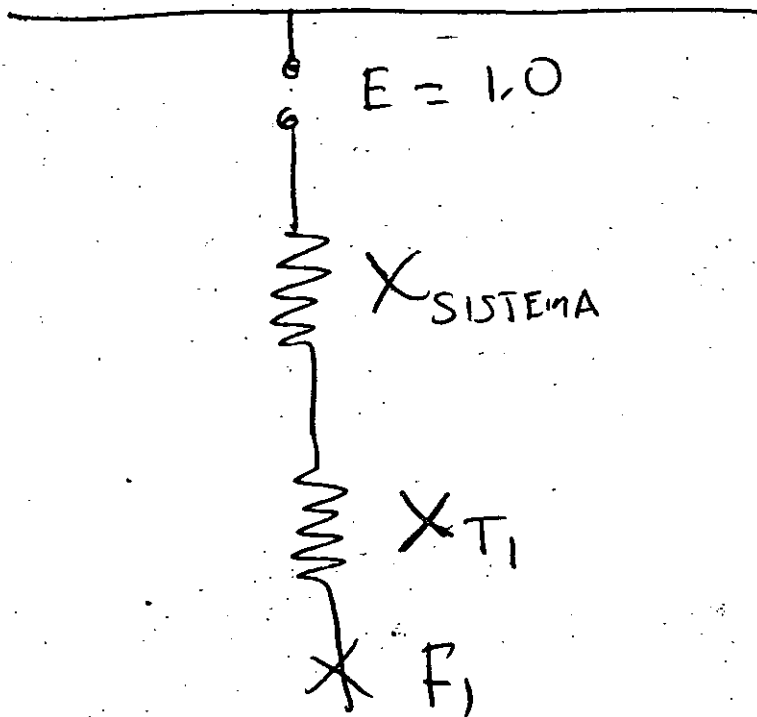
$KVA_{B_1} = 60,000$

$KVA_{B_2} = 1500$

$KV_{B_1} = 23$

$KV_{B_2} = 0.48$

FALLA F<sub>1</sub> :



$$X_{SIST} = \frac{KVA_{BASE}}{KVA_{SISTEMA}}$$

$$\begin{aligned} KVA_{SISTEMA} &= \sqrt{3} I_{INT} 230 = \\ &= \sqrt{3} (40,000) (230) = 15,934,400 \text{ KVA} \end{aligned}$$

$$X_{SIST} = \frac{60,000}{15,934,400} = \boxed{0.0038}$$

$$X_{T1} = \boxed{0.17}$$

$$I_{3\phi}(o/i) = \frac{I}{X_{SIST} + X_{TI}} = \frac{I}{0.0038 + 0.17}$$

$$I_{3\phi}(o/i) = 5.754 \text{ p.u.}$$

$$I_{3\phi} = (I_{BASE})(I_{p.u.})$$

$$I_{BASE} = \frac{KVA_{BASE}}{\sqrt{3} \cdot KV_{BASE}} = \frac{60,000}{\sqrt{3} \cdot 23}$$

$$I_{BASE} = 1506 \text{ Amps.}$$

$$I_{3\phi} = (1506)(5.754) = 8665 \text{ (amps)} \\ \text{(SINETRICOS)}$$

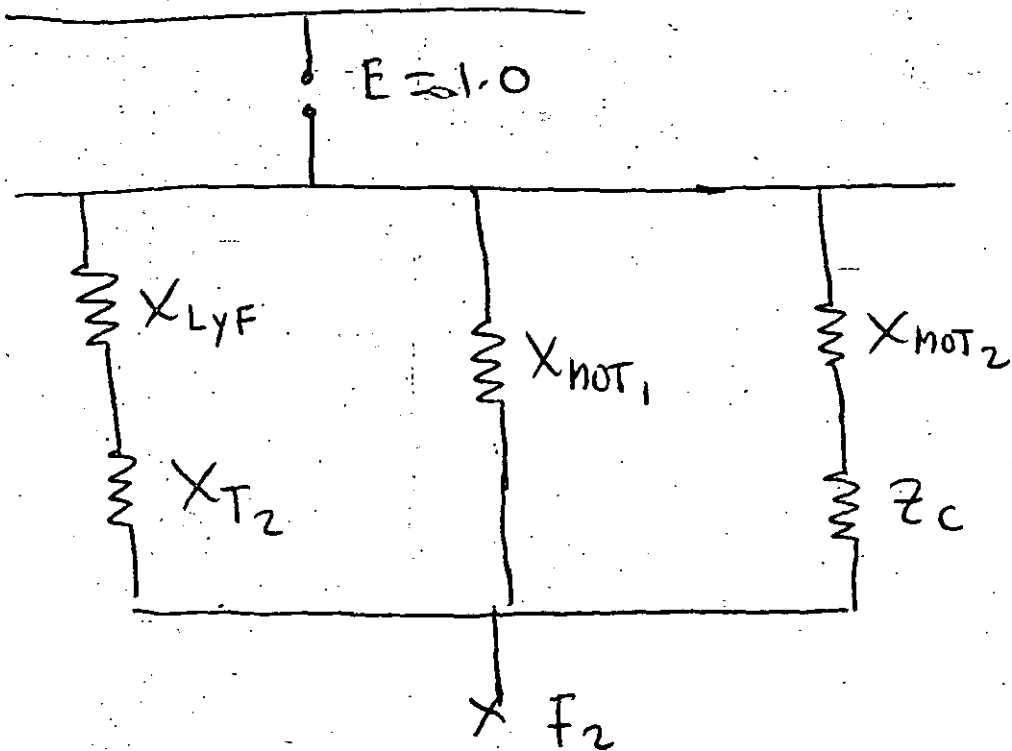
Como se trata de un fusible de Media Tensión (mayor a 1500 volts), muy rápido, el factor de asimetría será de 1.6

$$I_{3\phi} = (1.6)(8665) = 13,864 \text{ (amps)} \\ \text{(ASINETRICO)}$$

$$\boxed{MVA_{3\phi} = \sqrt{3} (13,864)(23) = 552 \text{ MVA.}}$$



# Falla F2



$$X_{LyF} = \frac{1500}{552,000} = \boxed{0.0027} (\%)$$

$$X_{T2} = \boxed{0.05}$$

$$X_{MOT1} = X_{MOT2} = \frac{1500}{300} \times 0.2 = 1.0$$

(1 HP  $\approx$  1 kVA)

$$Z_c = 0.0464 \text{ (ohms/1000 psc)}$$

(Anexo de General Electric)

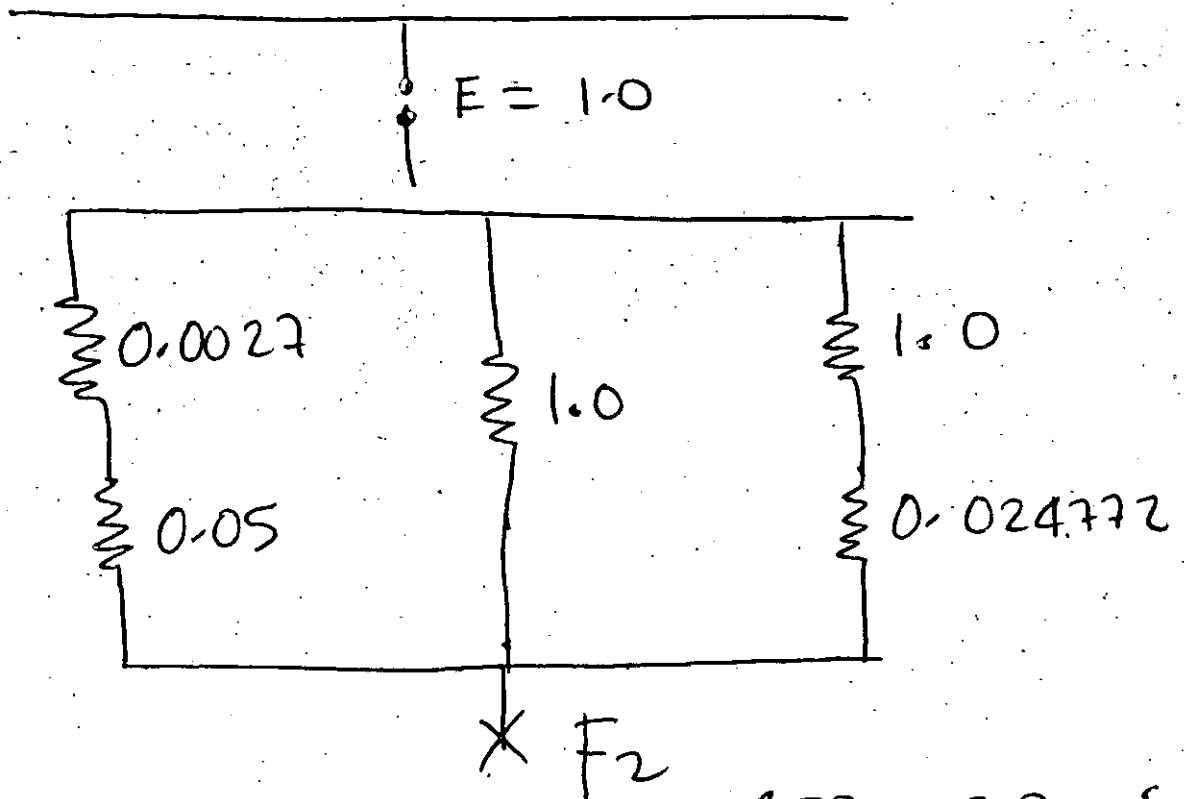
$$Z_c = 0.0464 \frac{50}{304.8} \times \left(\frac{1}{2}\right) \quad (7/9)$$

(2 por fuso)

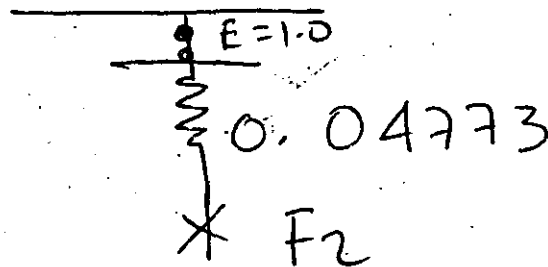
$$Z_c = 0.003805 \, \Omega$$

$$Z_c = 0.003805 \times \frac{1500}{(0.48)^2 \times 1000}$$

$$Z_c(4/1) = 0.024772$$



REDUCIDO:



(11)

$$I_{BASE} = \frac{1500}{\sqrt{3} (0.44)} = 1968 \text{ A.}$$

$$I_{3\phi (0/1)} = \frac{1}{0.04773} = 20.95$$

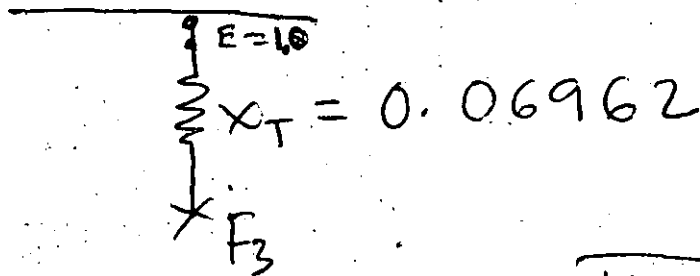
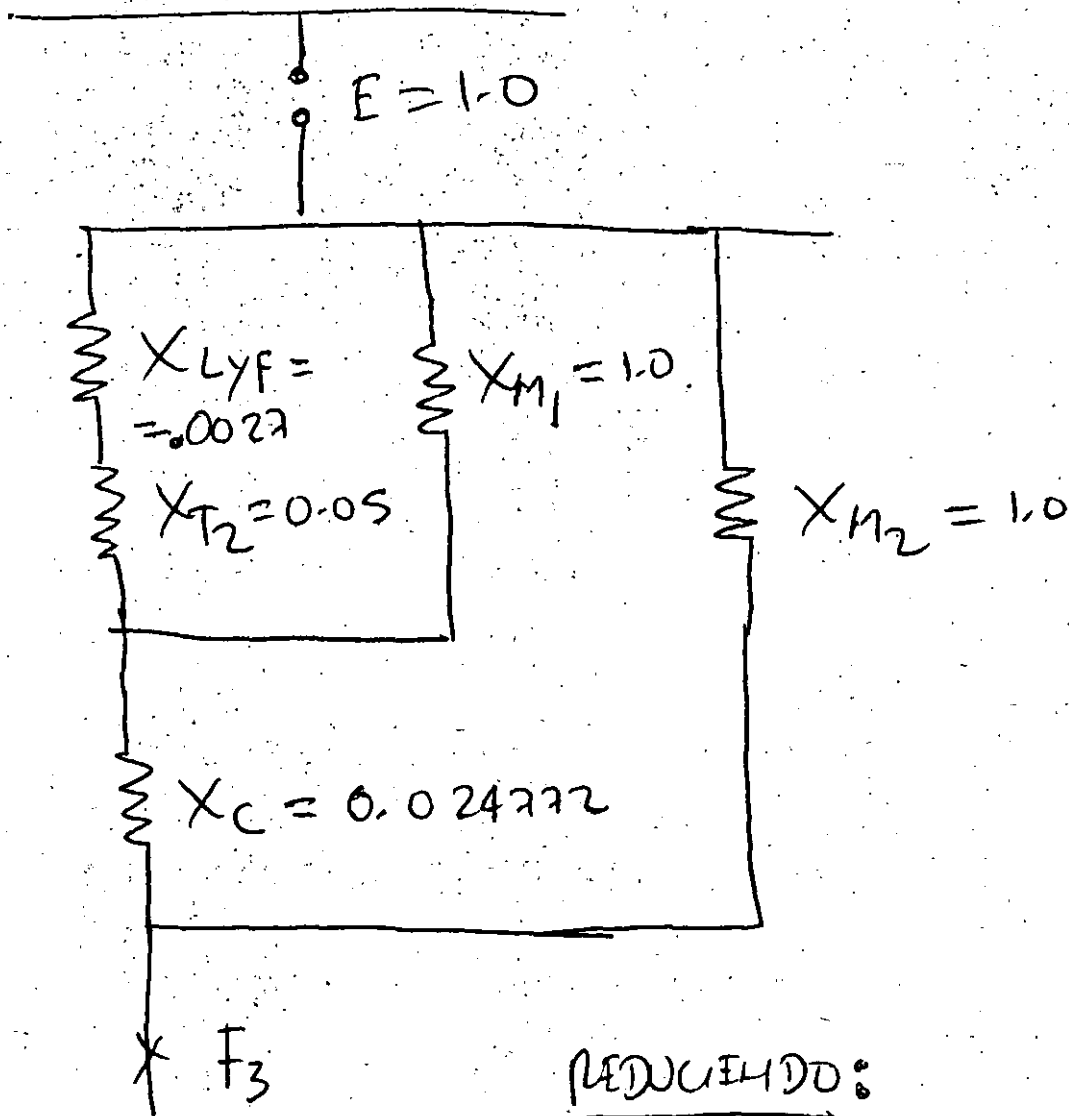
$$I_{3\phi} = (20.95)(1968) = 41,231$$

Amps Simétricos

Para calibrar la unidad "G" para Falla de arco a tierra, (1) convenientemente considerar una corriente de Falla de arco de por lo menos el 38% de la Falla sólida disponible o sea:

$$I_{arc} = (0.38)(41,231) = 15,667 \text{ A.}$$

# Falla en F3



$$I_{3\phi} = \frac{1}{0.06962} (1968) = \boxed{28,266 \text{ A}}$$



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES I**

**B I B L I O G R A F I A**

**MAYO, 1985.**

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CURSO DE  
INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

1. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION FOR INDUSTRIAL PLANTS" (IEEE STD. 141-1976. RED BOOK)
2. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS IN COMMERCIAL BUILDINGS" (IEEE STD. 241-1974, GRAY BOOK)
3. "INDUSTRIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK", DONALD BEEMAN, EDICION 1955
4. "I.E.S. LIGHTING HANDBOOK 1981" VOL. 1: REFERENCE VOLUME; VOL.2: APPLICATION VOLUME
5. "NORMAS TECNICAS DE EL REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS". SEPAFIN, 1982.
6. NATIONAL ELECTRIC CODE, 1984.
7. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR PROTECTION AND COORDINATION OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS" (IEEE STD. 242-1975, BUFF BOOK).
8. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR POWER SYSTEM ANALYSIS" (IEEE STD. 399-1980, BROWN BOOK).
9. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR GROUNDING INDUSTRIAL AND COMERCIAL POWER SYSTEMS" (IEEE STD 142-1982, GREEN BOOK).
10. "IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR EMERGENCY AND STANDBY POWER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL AND COMMERCIAL APPLICATIONS" (IEEE STD. 446-1980 ORANGE BOOK).
11. "IEEE 80 GUIDE FOR SAFETY GROUNDING IN AC SUBSTARIONS", 1976. (PA RA SISTEMAS DE TIERRAS, NORMA IEEE)
12. "INDUSTRIAL POWER SYSTEMS DATA BOOK, GENERAL ELECTRIC, SCHENECTADY, N.Y. USA.
13. ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK, WESTERN GHOUSE.
14. STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS. ARCHER E. KNOWLTON 9<sup>th</sup>. EDITION
15. IEEE TRANSACTIONS ON "INDUSTRY APPLICATIONS" (SE NECESITA INSCRIBIRSE AL IEEE)
16. IEEE TRANSACTIONS ON "POWER APPARATUS AND SYSTEMS" (SE NECESITA INSCRIBIRSE AL IEEE)
17. APPLIED PROTECTIVE RELAYING, 1979, WESTINGHOUSE

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES"  
IMPARTIDO EN ESTA DIVISION DEL 27 DE MAYO AL 7 DE JUNIO DE 1985.

- 1.- ACOSTA CASTRO LUIS GONZALO  
LECHE INDUSTRIALIZADA CONASUPO  
INGENIERO DE DISEÑO  
MELCHOR OCAMPO No. 479-C  
COL. ANZURES  
11590 MEXICO, D.F.  
211-21-40  
MAR DE KORA No. 10 BIS  
COL. POPOTLA  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11400 MEXICO, D.F.  
399-05-66
- 2.- ARELLANO AGUILAR JUAN CARLOS  
CALZ. DE TLALPAN No. 2453  
DELEGACION COYOACAN  
04610 MEXICO, D.F.  
549-07-40
- 3.- ARROYO MENDEZ BERNARDO  
TECNICA QUIMICA, S.A.  
SUPERVISOR DE MANTO.  
CALLE 10 No. 123  
COL. GRANJAS SAN ANTONIO  
EXTAPALAPA  
XIPOTOTEC No. 8-107  
DELEGACION COYOACAN  
INFONAVIT CULHUACAN
- 4.- AVILA BASTIDA JESUS  
S. C. T.  
JEFE DE SECCION  
LAGO PONIENTE No. 16-2o. PISO  
COL. UNIDAD AMERICAS  
674-17-23  
CALLE A No. 9 MZ VIII  
COL. EDUCACION  
DELEGACION COYOACAN  
04400 MEXICO, D.F.
- 5.- BERNAL GASPAR JAIME  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
JEFE DEPTO. DE ELECTRICIDAD  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152  
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
DELEGACION GUSTAVA A. MADERO  
07730 MEXICO, D.F.  
587-27-13  
AV. SAUCES LOTE 562-C-Mz. 51  
COL. PASTEROS  
DELEGACION AZCAPOTZALCO  
02150 MEXICO, D.F.  
394-33-91
- 6.- CABALLERO REYES ALEJANDRO  
DISEÑO E INSTALACIONES GENERALES  
INGENIERO PROYECTISTA  
FIIADELFIA No. 119 DEPS. 602  
6o. PISO COL. NAPOLES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03810 MEXICO, D.F.  
543-30-81 y 543-28-96  
FUENTE DE DIANA No. 57  
COL. METROPOLITANA  
DELEGACION NETZAHUALCOYOTL  
57730 EDO. DE MEXICO  
765-30-49

7.- CARMONA SUAREZ MIGUEL  
DIREC. GRAL. CONSTRUC. OPER. HIDRAUL.  
RESIDENTE  
AV. RIO CHURUBUSCO ESQ. CANAL APATLACO  
COL. ACULCO  
DELEGACION IZTAPALAPA  
657-24-42

AND. 14-16 DOLORES GUERRERO  
EDIF. 75-201 CTM  
DELEGACION COYOACAN

8.- CASTAÑEDA MARTINEZ JORGE  
SERVICIOS NAVEGACION ESPACIO AEREO  
TECNICO ESP. EQUIPOS ELECTRONICOS  
BOULEVARD PUERTO AEREO No. 485

TORRE DE CENTRAL AEROPUERTO  
NT. ZIHUETA  
APARTADO POSTAL No. 223  
4-22-22

9.- CLEMENTE ZALET A EDGARDO  
PROCESOS DE MEXICO INGENIERIA  
DISEÑADOR ELECTRICO  
AV. DE LA PAZ No. 26  
COL. CHIMALISTAC  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
550-80-00

SUR 113 A No. 207  
COL. HEROES DE CHURUBUSCO  
DELEGACION IZTAPALAPA  
09060 MEXICO, D.F.  
670-88-30

10.- CONTLA FERMAN JESUS  
LATINOAMERICANA DE INGENIERIA  
INGENIERO DE DISEÑO ELECTRICO  
CULIACAN No. 108  
COL. HIPODROMO CONDESA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
564-85-00

SERAFPIO RENDON No. 70-34  
COL. CUAUHEMOC  
06470 MEXICO, D.F.  
566-76-71

11.- CORTEZ CENICEROS JOSE ANGEL  
FES. C. FAC. EST. PROF. CUAUTITLAN  
PORFESOR ASIGNATURA "A"  
KM. 3.5 CARR. CUAUTITLAN TEOLOYUCAN  
872-32-09

CAPRICORNIO No. 46  
COL. VALLE DE LA HACIENDA  
CUAUTITLAN IZCALLI

12.- CREUS SIORDIA LUIS ENRIQUE  
BANCO DE MEXICO, S.A.  
SUPERVISOR DE MANTO,  
5 DE MAYO No. 2  
COL. CENTRO  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06959 MEXICO, D.F.  
518-05-00

CERRO DEL SOMBRERO No. 139-6  
COL. CAMPESTRE  
DELEGACION COYOACAN  
04200 MEXICO, DF.

13.- CRUZ MAZA GERARDO  
IPESA CONSULTORES



14.- DOMINGUEZ PUNARO JOSE MARIA

~~P-33~~ 6-24

UNIDAD LOMAS DE PLATEROS  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01480 MEXICO, D.F.  
651-07-18

15.- FELIX IBARRA JESUS ALBERTO  
S. C. T.

16.- FONG GARCIA MANUEL FILIBERTO  
CONSTRUCTORA DE OBRAS ELECTRICAS  
JEFE DE PROYECTO  
ENRIQUE REBSAMEN No. 430  
COL. NARVARTE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
687-14-11

17.- FRANCO GARCIA JORGE  
PLANIFICACIONES INST. ELECTRICAS  
SUPERVISOR  
LAGO CARGIA No. 114-5  
COL. ANAHUAC  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11320 MEXICO, D.F.  
399-71-73

LAGO CARDA No. 114-4  
COL. ANAHUAC  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11320 MEXICO, D.F.  
527-21-42

18.- GONZALEZ ESCOBAR JORGE  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
JEFE DE OFICINA  
INSURGENTES SUR No. 664  
COL. DEL VALLE  
687-55-10

CALZ. HUESO No. 334-132  
DELEGACION COYOACAN  
684-92-37

19.- GONZALEZ ROMAN GABRIEL  
DIREC. GRAL. SIST. AGUA POTABLE  
SUPERVISOR DE EQUIPSO ELECTROMECC.  
INSURGENTES CENTRO No. 56  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
535-06-84

FRAY PEDRO DE CORDOBA No. 101  
COL. VASCO DE QUIROGA  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07440 MEXICO, D.F.  
753-24-87

20.- GUTIERREZ Y LERDO DE TEJADA JAVIER  
GUTIERREZ TELLÓ Y CIA., S.A.  
GERENTE INFORMATICA  
DAKOTA No. 423  
COL. NAPOLES  
03810 MEXICO, D.F.  
543-62-30

AV. DESIERTO DE LOS LEONES No. 5524  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01720 MEXICO, D.F.  
536-77-09

21.- HERNANDEZ CRUZ JOSE

AV. EL CANTARO 11-A-101  
COL. VILLA COAPA  
DELEGACION TLALPAN

- 22.- HERNANDEZ PEREZ JUSTO  
 INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
 ING. DE DISEÑO  
 EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152  
 COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
 DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
 567-66-00
- 23.- IBANEZ CABRERA JOSE CUTBERTO  
 CIA. TRANSPORTE MARITIMO  
 INSPECTOR GRAL. MANTO. ELECTRICO  
 AV. MARINA NACIONAL No. 329  
 EDIF. B-1-2o. PISO  
 254-06-14
- 24.- IBARRETA ALBAREZ RAFAEL GABRIEL  
 COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
 SUBJEPE SEC. FABRICAC. INSTRUMEN.  
 AUGUSTO RODIN No. 265  
 COL. NOCHEBUENA  
 DELEGACION ALVARO OBREGON  
 563-37-00 ext. 244 y 247
- 25.- JARA CHAVARRIA JORGE  
 COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- 26.- JUAREZ HERNANDEZ PABLO  
 BUFETE INDUSTRIAL  
 INGENIERO "B"  
 MORAS No. 850  
 COL. DEL VALLE  
 DELEGACION BENITO JUAREZ  
 Q3100 MEXICO, D.F.  
 678-52-99
- 27.- LOPEZ ANTONIO ANGEL AURELIO  
 ORGANO SISTESIS, S.A.  
 SUPERVISOR DE MANTO,  
 CARRET. AMOMOLULCO SANTIAGO  
 KM. 10.800  
 TLAZALA EDO. DE MEXICO
- 28.- LOPEZ GARCIA ARTURO  
 ELECTROFRAGOS CONSTRUCTORA  
 INGENIERO RESIDENTE  
 HADA. SAN JOSE DE VISTA HERMOSA  
 No. 135  
 COL. PRADO COAPA  
 684-82-76
- 29.- MARTINEZ LARA ALPONSO  
 CONDUCTORES LATINCASA, S.A.  
 JEFE DE CONTROL DE CALIDAD  
 CAFETALES No. 39  
 COL. EXHACIENDA DE COAPA  
 TLALPAN 14300 MEX. D.F.
- ROSA VENUS No. 119  
 COL. MOLINO DE ROSAS  
 DELEGACION ALVARO OBREGON  
 01470 MEXICO, D.F.  
 567-66-00 ext. 40297
- MAR DE LAS TEMPESTADES No. 45  
 FRACC. LOS OLIVOS COYOACAN  
 04890 MEXICO, DF.  
 677-54-10
- GUIPUZCAN No. 37-3  
 COL. NIÑOS HEROES  
 DELEGACION BENITO JUAREZ  
 03034 MEXICO, D.F.  
 696-45-99
- TEPIC No. 45-5  
 COL. ROMA SUR  
 DELEGACION CUAUHTEMOC  
 06760 MEXICO, D.F.  
 658-52-99 ext. 1364
- CALLE VALLADOLID No. 7  
 COL. BARRIO SNATIAGUITO  
 OCOYOACAC, EDO. DE MEXICO
- ORIENTE 255 No. 29  
 COL. AGRICOLA ORIENTAL  
 DELEGACION IZTACALCO  
 08500 MEXICO, DF.  
 558-09-94
- RET. 18 DE AV. DEL TALLER EDIF. 43-11  
 DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA  
 15900 MEXICO, D.F.

30.- MONDRAGON ROSALES ARMANDO  
LATINOAMERICANA DE INGENIERIA  
INGEIERO "B"  
CULIACAN No. 108  
COL. HIPODROMO CONDESA  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
564-85-00

CORRALEJO No. 94  
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07730 MEXICO, DF.  
754-08-89

31.- MONTUFAR CORDOVA JUAN JOSE

IRENAS No. 31  
FRACC. LAS ALAMEDAS  
822-44-18

32.- OLGUIN FRAGOSO ALEJANDRO  
AIRE AMBIENTAL DE MEXICO  
ING. PROYECTISTA  
AV. PALMAS No. 765 DEPTO. 301  
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC  
11000 MEXICO, D.F.  
520-28-08

HACIENDA DE CRISTO No. 15  
ECHEGARAY, EDO. DE MEXICO

33.- OLIVARES PARRA AMILCAR  
SULZER HERMANOS, S.A.  
INGENIERO DEPTO. DE PROYECTOS  
CALZADA A LA VENTA No. 19  
COL. INDUSTRIAL CUAMATLA  
54730 CUAUTITLAN IZCALLI  
872-28-55

SONORA No. 323  
COL. JACARANDAS  
54050 TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
397-19-32

34.- OLIVARES PARRA RENE R.  
DIREC. GRAL. OBRAS  
UNAM  
SUPERVISOR  
AV. REVOLUCION No. 2045  
550-57-68

AV. CANAL DE MIRAMONTES No. 1931-101  
DELEGACION COYOACAN

35.- ORTIZ HERNANDEZ ESPIRIDION

CALLE BONANZA No. 112  
COL. FELIPE ANGELES  
15310 MEXICO, D.F.  
795-13-26

36.- PEREZ FUENTES JAVIER  
DIREC. GRAL. CONSTRUC.  
JEFE DE OFICINA  
SAN ANTONIO ABAD No. 231  
COL. OBRERA  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
588-57-35

NAVOJOA LOTE 1 MZ. A  
COL. EL YAQUI  
DELEGACION CUAJIMALPA  
05320 MEXICO, D.F.  
812-20-17

37.- RICO HERNANDEZ JOSE JAVIER  
UNAM

CALLE ANGEL No. 44  
COL. SAN JOSE INSURGENTES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03900 MEXICO, D.F.  
598-44-11

38.- ROMERO PIÑA ERNESTO  
DIREC, GRAL, CONSTRUC,  
RESIDENTE DE UNIDAD  
AV, RIO CHURUBUSCO No, 1285  
COL, SAN JOSE ACULCO  
DELEGACION IZTAPALAPA  
657-29-05

CALLE I No, 6  
COL, JARDINES DE CASA NUEVA  
ECATEPEC EDO, DE MEXICO

40.- ROSALES PALOMINO JOSE LUIS  
S, C, T,  
JEFE DE OFICINA  
LAGO PONJEN TE No. 16  
COL, AMERICAS UNIDAS  
676-17-31

5a, CERRADA DE ORIENTE No. 245 LOTE 43  
COL, AGRICOLA ORIENTAL  
DELEGACION IXTAPALAPA  
08500 MEXICO, D.F.  
558-98-67

41.- SALGADO FLORES CUSTODIO  
CIA, DE LUZ Y FZA, DEL CENTRO  
MELCHOR OCAMPO No. 171  
COL, TLAXPANA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
592-04-91

HDA. DE XALPA No. 20  
COL, VILLA QUIETUD  
DELEGACION COYOACAN  
04960 MEXICO, D.F.  
671-25-65

42.- SALVADOR GRANADOS HUMBERTO  
INTEGRACION ESP, EN ING. MEXICANA  
GERENCIA INSTALACIONES ELECTRICAS  
VALLADOLID No, 40-A102  
COL, ROMA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06700 MEXICO, D.F.  
516-67-22

ORIENTE 170 No. 179-4  
COL, MOCTEZUMA 2a. SECCION  
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA  
11500 MEXICO? D.F.

43.- SOLIS HERNANDEZ FELIX

44.- SAOLORZANO GARCIA LUIS CARLOS

45.- SUAREZ PELLYCER IGNACIO F,

IZTACCIHUATL No. 12  
62410 CUERNAVACA, MOR.

46.- TREJO MONROY LUCINO

SAN FAUSTINO N-. 822 L-26 INT. 3  
DELEGACION COYOACAN  
04600 MEXICO, DF.

47.- VALDEZ FERREIRA DAVID  
SIEMENS, S.A.  
INGENIERO DE PROYECTO  
PONIENTE 116 No. 590  
COL, INDUSTRIAL VALLEJO  
02300 MEXICO, D.F.  
567-07-22 ext. 398

PAPALZIN No. 1 DEPTO. 4  
UNIDAD INDEPENDENCIA  
DELEGACION MAGDALENA CONTRERAS  
10100 MEXICO, D.F.  
595-16-35

- 48.- VILLAVARDE CARRION JESUS  
DIREC, GRAL. OBRAS  
UNAM  
JEFE DE DEPARTAMENTO  
AV. REVOLUCION No. 2045  
550-57-68
- SAHUARIPA No. 11  
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA  
05990 MEXICO, D.F.  
768-83-91
- 49.- VILLANUEVA ROSALES ARMANDO  
DIREC. GRAL. CONST. OPERAC.  
JEFE UNIDAD DEPTO.  
SAN ANTONIO ABAD No. 231-7o. PISO  
COL. OBRERA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
588-37-66
- AYUNTAMIENTO No. 17  
COL. TLALPAN  
DELEGACION TLALPAN  
14000 MEXICO, D.F.  
573-30-37
- 50.- YEPEZ GONZALEZ JAVIER  
INTEGRACION ESP. ING. MEXICANA  
VALLADOLID No. 40-A-102  
COL. ROMA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06700 MEXICO, D.F.  
516-67-22
- 51.- ZUÑIGA RENDON G. RICARDO  
BUFETE INDUSTRIAL DISEÑOS Y PROY.  
INGENIERO  
MORAS No. 850  
COL. DEL VALLE  
DELELGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, DF.  
658-52-99 ext. 1364
- CALLE LAGO ZUG No. 48  
COL. TACUBA  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11410 MEXICO, DF.